

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**OFICINA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**  
**CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2010 - 2011**



**INFORME FINAL**

**“CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DE LA ANTOCIANINA Y  
ESTUDIO REOLÓGICO DE JUGO CONCENTRADO DE UVA  
ISABELLA (*Vitis labrusca*)”**

**INVESTIGADORES RESPONSABLES**

**Ing. M.Sc. THONY ARCE SAAVEDRA (COORDINADOR)**  
**Ing. Mg. RICARDO RAÚL LAYZA CASTAÑEDA**  
**Ing. Mg. ANITA RUTH MENDIOLA CÉSPEDES**  
**Ing. ABILIO DOMÍNGUEZ BALDOCEDA**

**INVESTIGADORES COLABORADORES**

**Ing. Dra MARI LUZ MEDINA VIVANCO**  
**Ing. Dr. OSCAR W. MENDIETA TABOADA**  
**Ing. ALFREDO RAMOS PEREA**  
**Bach. ELIANA GABRIELA SILVA SORIA (TESISTA)**  
**Bach. OSWALDO MALDONADO ALVARADO (TESISTA)**  
**Bach. OMAR ROJAS GARCÍA (TESISTA)**  
**Bach. JAVIER RAMOS QUEVEDO (TESISTA)**

**CIUDAD UNIVERSITARIA - UNSM - PERÚ**

**2016**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

## OFICINA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

### CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2010 - 2011



## INFORME FINAL

### “Cinética de Degradación de la Antocianina y Estudio Reológico de Jugo Concentrado de Uva Isabella (*Vitis labrusca*)”

#### INVESTIGADORES RESPONSABLES

*Ing. M.Sc. Thony Arce Saavedra (Coordinador)*

*Ing. Mg. Ricardo Raúl Layza Castañeda*

*Ing. Mg. Anita Ruth Mendiola Céspedes*

*Ing. Abilio Domínguez Baldoceda*

#### INVESTIGADORES COLABORADORES

*Ing. Dra. Mari Luz Medina Vivanco*

*Ing. Dr. Oscar W. Mendieta Taboada*

*Ing. Alfredo Ramos Perea*

*Bach. Eliana Gabriela Silva Soria (Tesista)*

*Bach. Oswaldo Maldonado Alvarado (Tesista)*

*Bach. Omar Rojas García (Tesista)*

*Bach. Javier Ramos Quevedo (Tesista)*



## DEDICATORIA;

*Este trabajo de investigación es dedicada  
a las personas más importantes en  
nuestras vidas:*

*A nuestras esposas y esposos.  
A nuestros hijos, alumnos y colegas que compartimos  
experiencias de vida y experiencias académicas.*

## AGRADECIMIENTOS

A los Profesores colaboradores y colegas de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial – UNSM; a quienes seremos siempre gratos por la dedicación con nuestro trabajo;

A nuestras familias, por el apoyo incondicional y por permitir que todo esto fuese posible;

A los productores de uva de San Antonio de Cumbaza – Región San Martín, por las veces que tuvieron que abastecer de la materia prima necesaria para este estudio;

A la Dirección y funcionarios técnicos de la Oficina de Investigación por las correcciones, sugerencias, asistencia y gentileza;

Al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, por el apoyo y disponibilidad del Laboratorio de Investigación, en especial para los análisis de concentración del jugo y polifenoles;

A Dolly, Guido, Walter, Alfredo y Richer, grandes amigos funcionarios de los laboratorios de la FIAI, por la competencia, alegría y constante disposición en prestar ayuda siempre que fuera necesario;

Los autores agradecen el financiamiento de este trabajo a través de la Oficina de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional de San Martín.

*A todos ustedes:*

*...muchas gracias;*

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
LEYENDA DE ABREVIATURAS Y TÉRMINOS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. <b>INTRODUCCIÓN</b> .....	01
II <b>OBJETIVOS</b> .....	03
2.1      GENERAL.....	03
2.2      ESPECÍFICOS.....	03
III. <b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	04
3.1      UVA NEGRA O ISABELLA.....	04
3.1.1    Jugo de uva.....	05
3.1.2    Concentración de jugo de frutas.....	06
3.2      COMPUESTOS FENÓLICOS.....	06
3.2.1    Antocianinas.....	08
3.2.2    Determinación de Antocianinas Totales.....	09
3.2.3    Determinación de Fenoles Totales.....	11
3.3      ESTUDIO DE DEGRADACIÓN DE VITAMINAS Y OTROS COMPUESTOS.....	11
3.3.1    Degradación de Antocianinas.....	12
3.4      COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS JUGOS.....	14
IV. <b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	17
4.1      Materia Prima.....	17
4.2      Reactivos.....	17
4.3      Material y equipos.....	17
4.4      Métodos.....	18
4.4.1    Proceso de obtención del jugo de uva Isabella concentrada.....	18
4.4.2    Análisis fisicoquímico.....	20

4.4.3	Cuantificación de Antocianinas Totales.....	22
4.4.4	Cuantificación de Fenoles Totales.....	23
4.4.5	Cinética de degradación térmica de las Antocianinas Totales.....	23
4.4.6	Determinación de parámetros reológicos.....	23
4.4.6.1	Sistema operacional Brookfield RVDV-III Ultra.....	24
4.4.6.2	Cálculo de parámetros reológicos.....	24
4.4.6.3	Cálculo del efecto Temperatura – Concentración.....	25
4.4.7	Análisis estadístico.....	26
V.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	27
5.1	Caracterización fisicoquímica del jugo de uva.....	27
5.2	Antocianinas Totales y Fenoles Totales.....	28
5.3	Cinética de degradación térmica de las antocianinas.....	31
5.4	Pruebas preliminares de concentración del jugo de uva.....	33
5.5	Efecto de la concentración sobre la densidad del jugo de uva.....	34
5.6	Caracterización reológica del jugo de uva.....	35
5.6.1	Análisis de los reogramas.....	35
5.6.2	Parámetros reológicos según los modelos matemáticos.....	38
5.6.3	Efecto de la temperatura y concentración sobre el índice de consistencia (K).....	44
5.6.3.1	Efecto de la temperatura.....	44
5.6.3.2	Efecto de la concentración.....	44
5.6.3.3	Efecto combinado de la temperatura y concentración.....	46
5.7	Análisis de varianza para el índice de consistencia (K) e índice de flujo (n).....	48
VI.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	50
6.1	CONCLUSIONES.....	50
6.2	RECOMENDACIONES.....	50
VII.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	52

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Composición centesimal del jugo de uva Isabella.....	28
Cuadro 2	Características fisicoquímicas del jugo de uva Isabella.....	28
Cuadro 3	Antocianinas Totales y Fenoles Totales del jugo de uva Isabella.....	30
Cuadro 4	Antocianinas Totales en el jugo de uva Isabella (mg/100 g de jugo) a diferentes tratamientos de temperatura y tiempo.....	31
Cuadro 5	Pruebas preliminares de velocidad de concentración de jugo de uva...	33
Cuadro 6	Valores promedio de densidad del jugo de uva Isabella a diferentes concentraciones.....	34
Cuadro 7	Parámetros reológicos ajustados al modelo de Ostwald de Waele (ley de la potencia) a diferentes concentraciones y temperaturas.....	41
Cuadro 8	Parámetros reológicos ajustados al modelo de Herschel-Bulkley a diferentes concentraciones y temperaturas.....	41
Cuadro 9	Parámetros reológicos ajustados al modelo de Casson a diferentes concentraciones y temperaturas.....	42
Cuadro 10	Parámetros de la ecuación de Arrhenius: $K = K_0 \cdot \exp(E_a/R.T)$ a diferentes concentraciones.....	44
Cuadro 11	Parámetros resultantes del ajuste al modelo potencial: $K = K_1 \cdot C^{A_1}$ para el jugo de uva Isabella.....	44
Cuadro 12	Parámetros resultantes del ajuste al modelo exponencial: $K = K_2 \cdot \exp(A_2 \cdot C)$ para el jugo de uva Isabella.....	44
Cuadro 13	Parámetros para el índice de consistencia ( $K$ ) obtenidos en función del efecto combinado de la temperatura y concentración.....	45
Cuadro 14	Parámetros para el índice de flujo ( $n$ ) obtenidos en función del efecto combinado de la temperatura y concentración.....	47



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Racimos de uva negra o Isabella ( <i>Vitis labrusca</i> ).....	04
Figura 2	Estructura de una uva madura.....	05
Figura 3	Esquema de biosíntesis general que conduce a la mayoría de las clases de flavonoides.....	09
Figura 4	Flujograma del jugo parcialmente concentrado de uva Isabella.....	20
Figura 5	Granos y jugos integral de uva Isabella.....	27
Figura 6	Curva patrón de ácido gálico determinada para cuantificar fenoles totales en el jugo de uva Isabella integral.....	30
Figura 7	Cinéticas de degradación térmica de las antocianinas totales presentes en el jugo de uva Isabella.....	32
Figura 8	Evaporador rotativo utilizado en la concentración del jugo de uva.....	34
Figura 9	Efecto de la concentración (°Brix) sobre la densidad del jugo de uva Isabella.....	35
Figura 10	Reograma del jugo de uva Isabella a 12,5 °Brix (A) y 15,0 °Brix (B) a temperaturas de 30, 40 y 50°C.....	36
Figura 11	Reograma del jugo de uva Isabella a 20,0 °Brix (C) y 25,0 °Brix (D) a temperaturas de 30, 40 y 50°C.....	36
Figura 12	Reograma para el jugo de uva Isabella a 30°C (A) y 40°C (B) a concentraciones de 12,5; 15,0; 20,0 y 25,0 °Brix.....	37
Figura 13	Reograma para el jugo de uva Isabella a 50°C a concentraciones de 12,5; 15,0; 20,0 y 25,0 °Brix.....	37
Figura 14	Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 12,5 °Brix, 30°C (A) y 40 °C (B).....	38
Figura 15	Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 12,5 °Brix y 50°C.....	39
Figura 16	Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 15 °Brix a 30 °C (A) y 40 °C (B).....	39
Figura 17	Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 15 °Brix y 50 °C.....	39
Figura 18	Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 20 °Brix a 30°C (A) y 40°C (B).....	40

Figura 19	Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 20 °Brix y 50°C.....	40
Figura 20	Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 25 °Brix a 30°C (A) y 40°C (B).....	40
Figura 21	Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 25 °Brix y 50 °C.....	41
Figura 22	Efecto combinado de la temperatura y concentración sobre el índice de consistencia ( $K$ ).....	47
Figura 23	Respuesta promedio del índice de consistencia ( $K$ ) para la combinación temperatura – concentración.....	49
	Respuesta promedio del índice de flujo ( $n$ ) para la combinación temperatura – concentración.....	49

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA EL ÍNDICE DE CONSISTENCIA (K) CON DATOS DEL MODELO DE OSTWALD DE WAELE.....	58
ANEXO A1	PRUEBA DE TUCKEY PARA EL ÍNDICE DE CONSISTENCIA (K).....	58
ANEXO A2	ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA EL ÍNDICE DE FLUJO.....	61
ANEXO B	DISEÑO: PROPUESTA DE EVAPORADOR AL VACÍO.....	62
ANEXO C	TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN GENERADOS POR LA AQUISICIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES IMPLEMENTADOS POR EL PRESENTE PROYECTO.....	65
ANEXO C1	(TESIS) ESTUDIO REOLÓGICO DE LA PULPA DE UVA ISABELLA ( <i>Vitis labrusca</i> ) A DIFERENTES CONCENTRACIONES Y TEMPERATURAS.....	65
ANEXO C2	(PROYECTO DE TESIS) CONCENTRACIÓN AL VACÍO Y CINÉTICA DE DEGRADACIÓN TÉRMICA DE ANTOCIANINAS DEL JUGO DE UVA ISABELLA ( <i>Vitis labrusca</i> ).....	67
ANEXO C3	(PROYECTO DE TESIS) CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS Y FENOLES TOTALES Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA PULPA DEL FRUTO DE LA PALMERA UNGURAHUI ( <i>Oenocarpus bataua</i> Mart.).....	67
ANEXO C4	(TESIS) INFLUENCIA DE LA MOLIENDA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL LICOR DE CACAO	67

## LEYENDA DE ABREVIATURAS Y TÉRMINOS

AT - Antocianinas Totales

FT – Fenoles Totales

$\dot{\gamma}$  – velocidad de deformación

$K$  – índice de consistencia

$n$  – índice de flujo

EAG – Equivalente de ácido gálico

## RESUMEN

### Cinética de Degradación de la Antocianina y Estudio Reológico de Jugo Concentrado de Uva Isabella (*Vitis labrusca*)

**Introducción.** La uva de San Antonio de Cumbaza tiene similares características sensoriales y de composición a la uva negra producida en otras regiones, con una importante demanda para la elaboración del vino regional y, como saborizante para la industria alimentaria. La uva negra en general aporta sustancias fenólicas, entre ellas, las antocianinas de propiedades antioxidantes *in vitro* y probablemente con beneficios a la salud humana. **Objetivo.** Estudiar la cinética de degradación de las antocianinas y propiedades reológicas del jugo de uva. **Métodos.** La degradación térmica de las antocianinas fue conducida a 70, 80 y 90°C por 5, 10, 15 y 20 minutos en rota-evaporador a presión de vacío mínimo. Para el estudio reológico se utilizó el viscosímetro Brookfield RVDV - III Ultra a diferentes temperaturas y concentraciones y, los datos obtenidos fueron ajustados a los modelos matemáticos Oswald-de-Waelle, Casson y Herschel-Bulkley. **Resultados.** Las antocianinas y fenoles totales fueron cuantificados. La degradación de las antocianinas para el tratamiento térmico propuesto fue inminente. El comportamiento reológico produce valores próximos al modelo de Ostwald de Waele, además con índice de consistencia menor. **Conclusión.** El jugo de uva presenta alto contenido de Fenoles Totales, muy sensible degradación térmica, y comportamiento reológico tipo fluido pseudoplástico.

**Palabras-clave:** Antocianinas; degradación, reología; *Vitis labrusca*; uva.

## ABSTRACT

**Introduction.** Grape from San Antonio de Cumbaza has similar sensory characteristics and composition to the black grapes produced in other regions, with a high demand for the regional wine production and as a flavoring for the food industry. The black grape generally provides phenolics, including anthocyanins with antioxidant properties *in vitro* and probably benefits to human health. **Objective.** Study the kinetics of degradation of anthocyanins and rheological properties of grape juice. **Methods.** Thermal degradation of anthocyanins was conducted at 70, 80 and 90°C for 5, 10, 15 and 20 minutes rota-evaporator minimum vacuum pressure. Rheological study was performed with the Brookfield viscometer LVDV - III Ultra at different temperatures and concentrations. This data were adjusted to the Oswald-de-Waele, Casson and Herschel-Bulkley mathematical models. **Results.** Anthocyanins and total phenols were quantified. Anthocyanins degradation for the proposed heat treatment was imminent. The rheological behavior produces values close to Ostwald de Waele model and also a lower consistency index. **Conclusion.** Grape juice has a high content of total phenolics, highly sensitive thermal degradation, and a fluid type pseudoplastic rheological behavior.

**Keywords:** Anthocyanins; degradation; rheology; *Vitis labrusca*; grape.

## I. INTRODUCCIÓN

La uva negra regional o conocida como uva Isabella (*Vitis labrusca*) adaptada a la región San Martín y que, se conoce poco o nada sobre los inicios de su producción. Su consumo es básicamente como bebida refrescante (refresco de uva) y alcohólica (vino y macerados). También es consumido bajo otras formas de procesamiento como jugos, néctares, mermelada, saborizantes de chupetes, helados y yogures y como fruta fresca de mesa. El MINAGRI (2015) reporta una producción de solo 100 toneladas de uva en la región San Martín para los años 2014 – 2015.

La uva es el producto que identifica a la zona en especial al distrito de San Antonio de Cumbaza, provincia de San Martín, donde se produce tres veces al año y se elabora vinos dulce, semiseco y seco (VÁSQUEZ, 2008 citado por ROJAS, 2008)

Por otro lado, varias investigaciones han demostrado la importancia para la salud de un enorme conjunto de sustancias fitoquímicas presentes en los alimentos, incluyendo los polifenoles, que se destacan por las propiedades antioxidantes e moduladoras del metabolismo (ARCE, 2008). Las frutas y bebidas de origen vegetal, tales como jugos de frutas son la dieta de fuentes de polifenoles. Los polifenoles han recibido un creciente interés de los consumidores y la industria alimentaria debido a la asociación directa entre el consumo y la prevención de varias enfermedades (JK da SILVA 2016).

En tanto, las uvas negras son consideradas como una de las mayores fuentes de compuestos fenólicos en comparación a otras frutas y verduras. Varios efectos benéficos a la salud han sido atribuidos a los compuestos fenólicos presentes en las frutas, verduras, té y vinos (DELMAS *et al.*, 2005; JK da SILVA, 2016). Estudios epidemiológicos, clínicos e in vitro muestran múltiples efectos biológicos relacionados a los compuestos fenólicos de la dieta, tales como: actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana y anticarcinogénica (DELMAS *et al.*, 2005).

Por otro lado, la rápida etapa de maduración y sobremaduración conlleva a pérdidas de materia prima por fermentación microbiana, que en muchos casos es significativo, principalmente en los centros de producción y expendio locales. Por lo que, procesar la uva oportunamente y eliminar parcialmente el agua *in situ* permitiría obtener un

producto concentrado, que mantiene sus propiedades nutraceuticas y un mayor tiempo de vida útil. Esto ayudaría aprovechar toda la materia prima producida y una economía significativa de energía durante el almacenamiento, transporte y distribución debido a la reducción de su volumen, además de un aumento en la estabilidad microbiológica.

Según Silva (2001), una forma de reducir los costos de transporte, almacenamiento, costo de refrigeración (transferencia de calor), bombeamiento y demás operaciones que impliquen mover el jugo, es la reducción de su volumen y peso por la disminución de agua. Sin embargo es necesario controlar el aumento de la viscosidad, disminuyendo el tamaño de las macromoléculas pépticas, responsables por el aumento de la viscosidad en jugos concentrados, como en el caso del jugo de naranja (CRANDALL & BEILOCK, 1985).

Por ello, es importante estudiar las propiedades reológicas de los alimentos fluidos en general y, como en este caso del jugo de uva, es cada vez más requerido en la industria de alimentos para el diseño de equipos de procesos que involucren operaciones de filtración, intercambio de calor, bombeo, concentración, entre otros.

El presente estudio abordó etapas y parámetros de procesamiento que permiten ir optimizando el proceso de concentración de jugo de uva y, mantener el contenido de sustancias bioactivas como las antocianinas y fenoles totales, presentes principalmente en el hollejo (cáscara o piel) y la semilla, así como aporte de información necesaria para el equipamiento e instalación de una planta procesadora de jugos.



## **II. OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Obtener jugo concentrado de uva negra o Isabella rica en antocianinas producida en el distrito de San Antonio del Río Cumbaza, región San Martín.

### **ESPECÍFICOS**

- ✓ Estudiar la cinética de degradación de las antocianinas presentes en el jugo de uva a diferentes temperaturas.
- ✓ Estudiar la degradación de los compuestos fenólicos durante la evaporación del jugo de uva.
- ✓ Estudiar el comportamiento reológico del jugo durante su concentración.
- ✓ Optimizar el proceso de evaporación para la obtención de jugo concentrado con el mínimo de destrucción de la antocianina.

### III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 UVA NEGRA O ISABELLA

Según Castañeda (1992), la uva negra Isabella (Figura 1) tenía aproximadamente 100 años de cultivo en la región San Martín, principalmente en el San Antonio de Cumbaza, bajo la forma empírica y, que viene siendo utilizada principalmente como materia prima para producir vino de manera poco ortodoxa, agregándole azúcar comercial en su preparado.

El punto o momento de cosecha de los racimos de uva es importante, para las consideraciones del producto final, sean éstas para el consumo en fresco o para entrar en procesamiento. Generalmente para la industria el punto de cosecha es determinado a partir del acompañamiento de los contenidos en azúcar y ácidos orgánicos de las uvas, donde la cosecha se procede a partir del momento en que se observa la estabilización de la evolución de la maduración (PEREIRA *et al.*, 2008).



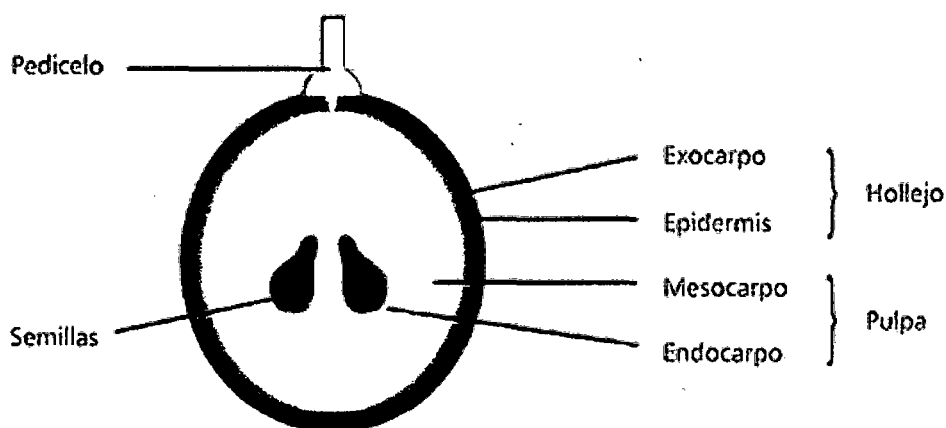
**Figura 1.** Racimos de uva negra o Isabella (*Vitis labrusca*) (ROJAS, 2008)

Castañeda, (1992) caracterizó la uva Borgoña negra producida en el distrito de San Antonio de Cumbaza, Perú de la siguiente manera:

- |                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| ✓ Variedad      | : Borgoña Negra.      |
| ✓ Tamaño Racimo | : De chico a mediano. |
| ✓ Forma racimo  | : Cónica.             |
| ✓ Color racimo  | : Negro violeta.      |

✓ Tamaño Grano	: Mediano.
✓ Forma de grano	: Esferoide.
✓ Tamaño Promedio	: 1,5 cm. de diámetro.
✓ Peso cascara y pepas	: 1,155 g. (33%).
✓ Peso total	: 3,5 g.
✓ Sólidos Solubles	: 12°Bx.
✓ pH	: 3,0
✓ Densidad de la Pulpa	: 1,034 g/cm <sup>3</sup> .
✓ Ácido ascórbico	: 4,6 mg/100 g de muestra.
✓ Acidez	: 1,35 % (expresado como ácido tartárico).
✓ Índice de madurez	: 8,89

Las partes de una uva madura se presentan en la Figura 2.



**Figura 2.** Estructura de una uva madura (CONDE *et al.*, 2007).

### 3.1.1 Jugo de uva

El jugo de uva es una bebida energética no fermentada, no alcohólica, de color, aroma y sabor característicos, siendo necesario someterlo a ciertos tratamientos para asegurar su conservación y presentación hasta el momento del consumo (NTP, 2009). Se consideran tres tipos de jugos de uva, el jugo de uva integral, donde el azúcar proviene exclusivamente de la uva, el jugo de uva endulzado, donde parte del azúcar puede ser adicionado en la forma de sacarosa y jugo de uva reconstituido, obtenido a partir de la disolución del mosto concentrado. Por otro lado, es importante estandarizar el momento de la cosecha de las uvas, porque ésta característica puede ser significativo o un factor a ser

llevado en consideración, visto que el equilibrio y la estructura de los jugos son basados sobre la relación azúcar/acidez (PEREIRA *et al.*, 2008)

### **3.1.2 Concentración de jugo de frutas.**

El jugo concentrado, es el jugo de fruta parcialmente deshidratado, a través de procesos tecnológicos adecuados, presentando concentración mínima equivalente a 21 °Brix en sólidos naturales de la fruta (NTP, 2009). En ese camino, la reducción del jugo de frutas en relación al volumen y peso, por la disminución de agua, es una forma de disminuir los costos de transporte, almacenamiento, costo de refrigeración (transferencia de calor), bombeamiento y demás operaciones que impliquen mover el jugo (SILVA (2001). Sin embargo es necesario controlar el aumento de la viscosidad, disminuyendo el tamaño de las macromoléculas pépticas, responsables por el aumento de la viscosidad en jugos concentrados de naranja (CRANDALL & BEILOCK, 1985).

La viscosidad es un factor importante durante la concentración de los jugos cítricos, especialmente en la producción de concentrados con altas densidades debido a la disminución de la eficiencia de las operaciones de evaporación, enfriamiento y bombeamiento, cuando el producto se torna altamente viscoso. En el caso del jugo de naranja, cuando ésta está siendo concentrado en el evaporador, las altas viscosidades en el fin del proceso aumentan considerablemente el punto de ebullición del jugo, generando un mayor consumo de vapor para la eliminación del resto del agua (SARAVACOS, 1970). Por otro lado, varios estudios han demostrado que las enzimas pépticas son efectivas en la reducción de la viscosidad del jugo concentrado de naranja (ONOFRE, 1996).

Por otro lado, en el procesamiento de alimentos, la temperatura es uno de los principales factores comprometidos en la degradación del color de los jugos concentrados y, está relacionado a la inestabilidad de las antocianinas que son pigmentos fenólicos con potencial para substituir los colorantes artificiales rojos (FALCÃO *et al.*, 2007).

## **3.2 COMPUESTOS FENÓLICOS**

La mayoría de frutas y verduras, en adición a los nutrientes esenciales o macronutrientes y una serie de micronutrientes, tales como minerales, fibras y vitaminas, contribuyen con diversas sustancias metabólicas secundarias de naturaleza fenólica,

llamados polifenoles. Estas están naturalmente presentes en frutas, siendo que algunas presentan altas concentraciones de determinados grupos (ARCE, 2008).

Dentro de la gama de compuestos fenólicos presentes en los alimentos como frutas y verduras, las antocianinas son flavonoides y compuestos polares ampliamente distribuidas en la naturaleza y son responsables por la mayoría de los colores azul, violeta y todas las tonalidades de rojo, presentes en flores y frutos, por el desplazamiento de longitud de onda que genera su catión flavilio (WROLSTAD *et al.*, 1994; DEGÁSPARI & WASZCZYNSKYJ, 2004).

Estos compuestos fenólicos son responsables de varias funciones de defensa para las plantas, no solamente contra agentes del medio ambiente (luz, temperatura y humedad), sino también para factores internos incluyendo diferencias genéticas, nutrientes, hormonas, contribuyendo para su síntesis presentan (AHERNE & O'BRIEN, 2002).

Las antocianinas se sintetizan a partir de la condensación de dos moléculas precursoras (Figura 3): malonil CoA y p-cumaril-CoA, las que más tarde formarán anillos A y B respectivamente. Las antocianinas son sintetizadas por varias rutas. Sobresalen dos, la del ácido shikímico y la del ácido malónico. En la ruta del ácido shikímico se convierten carbohidratos simples derivados de la glicólisis, de la ruta de las pentosas fosfato y ciclo de Calvin en diversos ácidos orgánicos como el cinámico, p-coumárico, caféico, ferúlico, clorogénico y fenilalanina. Cabe resaltar que esta ruta sintética también es compartida por otros compuestos fenólicos. La principal reacción de biosíntesis de los flavonoides es la condensación de los acilos provenientes de cumaril-CoA y tres moléculas de malonil-CoA catalizada por la enzima chalcona isomerasa que lleva a cabo la isomerización de chalcona a flavona, misma que es convertida en flavones o antocianinas. Los pasos finales en la síntesis de antocianinas son las acilaciones y las glicosilaciones, primero en el C-3, para estabilizar el catión flavilio (GROSS, 1987).

Las investigaciones de componentes bioactivos de fuentes naturales actualmente tienen una tendencia muy fuerte atractiva. Al mismo tiempo, un incremento en el consumo de uvas y sus productos fue evidenciado, basado no solamente en la nutrición sino también en sus efectos benéficos para la salud (JK da SILVA *et al.*, 2016). En uvas tintas, las

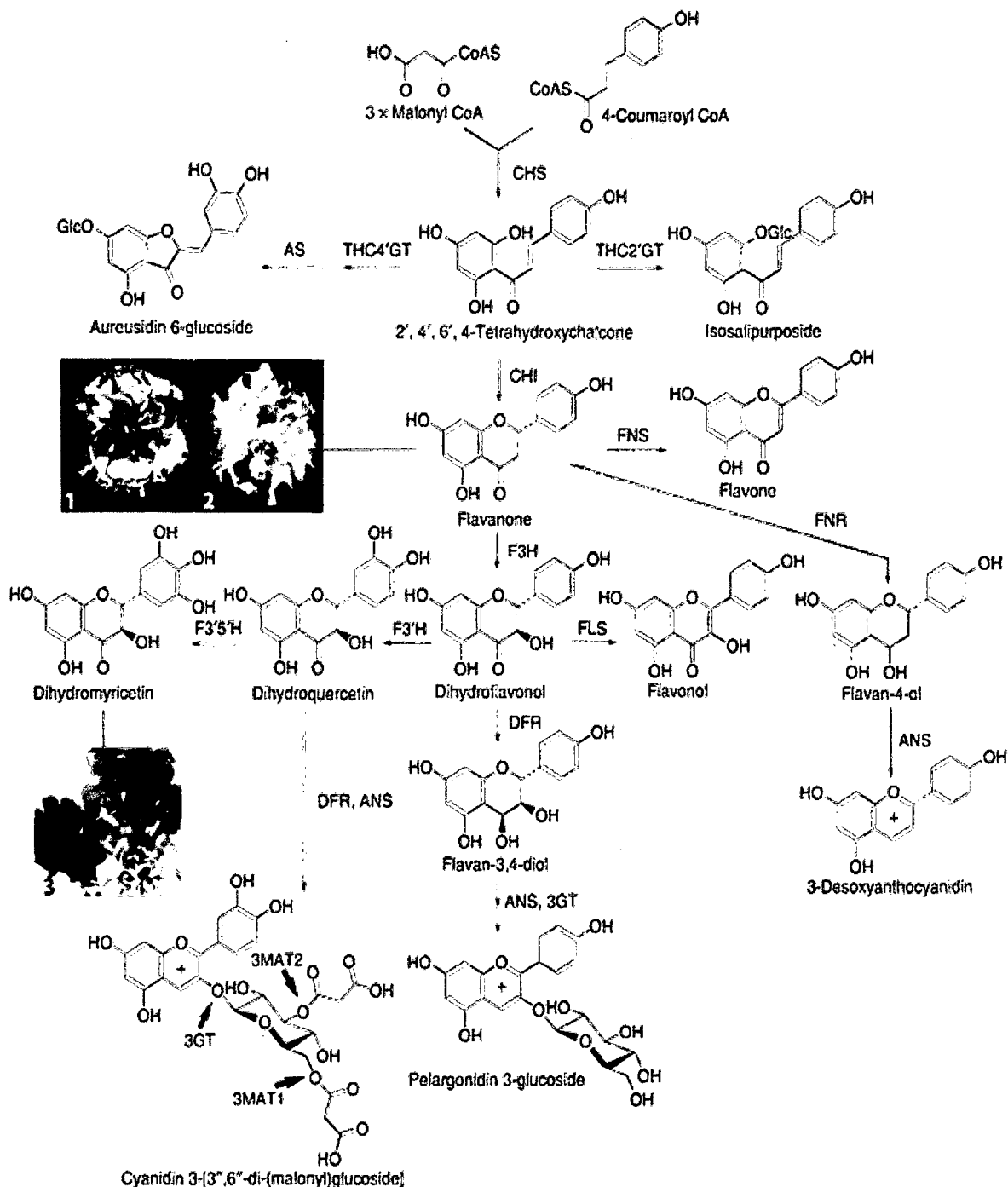
antocianinas constituyen el mayor porcentaje de compuestos fenólicos (ABE *et al.*, 2007), representando un constituyente importante para la producción de vinos tintos porque contribuyen para los atributos sensoriales y, principalmente, para la coloración del vino (MUÑOZ-ESPADA *et al.*, 2004; DELMAS, 2005).

Dentro de todos los compuestos fenólicos de las uvas, el **resveratrol** ha atraído la atención especial en las últimas décadas en estudios epidemiológicos que muestran correlación inversa entre el consumo moderado de vino y la incidencia de enfermedades cardiovasculares. Los estudios con resveratrol tuvieron inicio a partir de investigaciones relacionadas a la dieta francesa, que a pesar de ser rica en grasas de origen animal, parece asociada a la baja incidencia de enfermedades cardiovasculares, fenómeno conocido como “Paradoja Francesa” (LANGCAKE & PRYCE, 1976). El resveratrol puede ser encontrado en maní, cacao, algunas variedades de té, sin embargo, la principal fuente son las uvas y sus derivados (COUNET *et al.*, 2006).

### 3.2.1 Antocianinas

Las antocianinas son pigmentos hidrosolubles, y sus espectros de color van del rojo al azul, presentándose también como una mezcla de ambos colores resultando de tonos de púrpura (violáceo). Muchas frutas, hortalizas, hojas y flores deben su atractiva coloración a estos pigmentos que se encuentran dispersas en las vacuolas celulares. Se conocen entre 20 antocianinas, siendo que solo 6 de ellas son importantes en la tecnología de alimentos: pelargonidina, cianidina, delfinidina, peonidina, petunidina y malvidina (DEGÁSPARI & WASZCZYNSKYJ, 2004).

Varios estudios permiten concluir que las antocianinas tienen una actividad antioxidante superior a la de la vitamina C y E (MELO, 2007). La estabilidad de las antocianinas ha sido un problema para la industria de alimentos, una vez que ellas interactúan con el ácido ascórbico, metales, azúcares, oxígeno, luz, temperatura y enzimas, produciendo polímeros y la degradación de los productos (FRANCIS, 1982; BOBBIO & BOBBIO, 1992).



**Figura 3.** Esquema de biosíntesis general que conduce a la mayoría de las clases de flavonoides (ANDERSEN & JORDHEIM, 2010).

### 3.2.2 Determinación de Antocianinas Totales

El método más comúnmente usado es el **Método por Diferencia de pH** desarrollado por Giusti y Wrolstad (2001). Donde los pigmentos antociánicos se someten a

transformaciones estructurales reversibles con un cambio de pH, manifestado por una impresionante diferencia de espectros de absorbancia (A la forma colorida del oxonio predominante en pH 1,0 y a la forma hemiacetal incoloro a pH 4,5). El Método del pH Diferencial es basado en esta reacción, y permite la medida exacta y rápida de las antocianinas totales, mismo en la presencia de los pigmentos degradados polimerizados y de otros compuestos de interferencia.

Se utiliza dos sistemas tampón: ácido clorhídrico/cloruro de potasio de pH 1,0 (0,025M) y ácido acético/acetato sódico de pH 4,5 (0,4M). Donde a ~ 0.3 mL de extracto seco diluido (para alcanzar una absorbancia en la zona de 0,100 – 1,200 a 510 nm) se adiciona ~ 4,7 mL de la correspondiente disolución tampón.

Se mide la absorbancia frente a un blanco a 510 y 700 nm. Después se calcula la absorbancia final a partir de la siguiente expresión:

$$A = (A_{\text{max vis}} - A_{700\text{nm}}) \text{ pH } 1,0 - (A_{\text{max vis}} - A_{700\text{nm}}) \text{ pH } 4,5$$

La concentración de pigmentos monoméricos en el extracto se expresa en cianidina-3-glucósido.

$$\text{Antocianos Monoméricos (mg/100g)} = A \times PM \times FD \times 1000 / \epsilon \times l$$

donde:

- A = Absorbancia
- PM = Peso molecular
- FD = Factor de dilución
- $\epsilon$  = Absortividad molar

La concentración final de las antocianinas (mg/100 g) se calcula en base a la masa de extracto y peso de la muestra. Se expresa en cianidina 3 – glucósido (PM: 449,2 y  $\epsilon$ : 26900).



### **3.2.3 Determinación de Fenoles Totales**

La cuantificación espectrométrica de compuesto fenólicos es realizada por medio de una variedad de técnicas, todavía, que utiliza el método de Folin-Ciocalteu (SOUSA *et al.*, 2007).

Se fundamenta en su carácter reductor y es el más conocido. El reactivo consiste de la mezcla de los ácidos fosfomolibdico y fosfotungstístico, en el cual el molibdeno y el tungsteno se encuentran en el estado de oxidación 6+ entonces, en presencia de ciertos agentes reductores como los compuestos fenólicos, se forman los llamados molibdeno azul y tungsteno azul, en los cuales la media del estado de oxidación de los metales está entre 5 y 6 y cuya coloración permite la determinación de la concentración de las sustancias reductoras, que no necesariamente precisan tener naturaleza fenólica.

La determinación del tenor de fenoles totales se realiza por medio de espectrofotometría en la región visible a 765 nm, sobre el extracto acetónico de las muestras a preparar según Lichenthäler (2005).

El tenor de fenoles totales (FT) es determinado por la interpolación de la absorbancia de las muestras contra una curva de calibración, construida con patrón analítico de ácido gálico y expresada como mg de EAG (equivalentes de ácido gálico). Todos los análisis deben realizarse por triplicado.

### **3.3 ESTUDIO DE DEGRADACIÓN DE VITAMINAS Y OTROS COMPUESTOS.**

El conocimiento cuantitativo del efecto de la temperatura sobre la velocidad de degradación principalmente de los compuestos activos en los alimentos es importante. Alvarado & Viteri (1989) verificaron que la velocidad de degradación del ácido ascórbico en el jugo de naranja fresco aumenta con el aumento de la temperatura.

Según Rassis y Saguy (1995) el jugo de naranja concentrado y pasteurizado a 84, 87 y 90°C por 72 segundos y almacenado por 7 semanas a 32°C y 15 semanas a 22°C no presentaron oscurecimiento enzimático, las concentraciones de ácido ascórbico, sacarosa, fructosa y furfural tampoco se alteraron debido al tratamiento térmico.

En relación a la pectina, Rouse y Albrigo (1974) muestran que el índice de pectina en el jugo de naranja concentrado es relativamente bajo, generalmente menor que 1%. Sin embargo, a pesar de esa pequeña cantidad, ella desempeña un papel fundamental en el comportamiento reológico, aumentando la viscosidad e introduciendo comportamiento no-Newtoniano.

Durante el calentamiento, generalmente la degradación y la polimerización lleva a la decoloración de los pigmentos antociánicos (MARKAKIS, 1982), por este motivo la temperatura y el tiempo de calentamiento de los alimentos durante el procesamiento son parámetros necesarios que merecen considerable atención (FALÇÃO *et al.*, 2007).

### **3.3.1 Degradación de Antocianinas**

El mecanismo de la degradación térmica de las antocianinas aún no ha sido completamente elucidado. Adams (1973) mostró que para valores de pH entre 2,0 y 4,0, el calentamiento de las antocianinas provoca primeramente la hidrólisis del enlace glucosídico con posterior formación de la chalcona. Además de eso, según el mismo autor, existen evidencias de que la hidrólisis glucosídica de las antocianinas sea la principal causa de la pérdida de color, una vez que la velocidad de la liberación del azúcar es proporcional a la velocidad de la pérdida del color rojo. Según Wrolstad *et al.*, (2005) los pigmentos antociánicos realmente se degradan durante el procesamiento y almacenamiento de productos alimenticios, lo cuales tienen un impacto dramático en la calidad del color y puede también afectar propiedades nutricionales.

Meschter (1954), citado por Malacrida y Motta (2005), relató la destrucción del 50% de las antocianinas durante el procesamiento de compota de fresa a 100°C. Por otro lado, Kirca *et al.*, (2006) estudió la estabilidad de antocianinas de zanahoria adicionada en jugos (manzana, naranja, uva, mandarina o limón) y en néctares (damasco, durazno y piña), durante calentamiento a 70 – 90°C y almacenamiento a 37°C. Los resultados mostraron gran efecto de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad de las antocianinas en todos los jugos y néctares, ocurriendo degradación mucho más rápida durante almacenamiento a 37°C. Las antocianinas presentaron menor estabilidad durante calentamiento y almacenamiento cuando estuvieron presentes en jugo de naranja. Con

relación al calentamiento, las antocianinas en los jugos de manzana y uva y en los néctares de damasco y durazno revelaron mayor estabilidad a 70 y 80°C.

El efecto del oxígeno en la degradación de las antocianinas fue constatado por Tressler y Pederson (1936) citado por Kirca *et al.*, (2006). Los autores observaron que el cambio del color morado para marrón en jugos de uva embotellados podía ser prevenida simplemente llenando completamente las botellas, o sea, eliminando el oxígeno de su interior.

En otro estudio, Sarni-Manchado *et al.*, (1996) evaluaron la estabilidad de antocianinas no-aciladas en el extracto bruto de uva (*Vitis vinifera*). El estudio fue realizado a pH 3,0 y 5,0 en la presencia de oxígeno y ausencia de luz a 55°C. Después de 8 días fue verificada una reducción de 80-90% del color inicial de las soluciones, indicando la poca estabilidad de las antocianinas no-aciladas en las condiciones estudiadas.

Según Gabas *et al.*, (2003), la ecuación de Bigelow es utilizada para evaluar la intensidad del proceso de esterilización, pero puede ser empleada para representar la variación de la velocidad de una dada transformación a una determinada temperatura constante en los procesos de secado o almacenamiento de alimentos. Por otro lado, la mencionada ecuación también ha sido ampliamente utilizada en el estudio de la cinética de inactivación de la pectinesterasa en la elaboración de jugos (AMSTALDEN, 1992) y en la degradación de ácido ascórbico.

La degradación de la antocianina es considerada como una reacción de primer orden (ARÉVALO-PINEDO, 2007), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\frac{dC}{dt} = -k C.. \quad (1)$$

En la forma integrada, se tiene:

$$\log \left( \frac{C_0}{C} \right) = \frac{K}{2,303} t = \frac{t}{D_t} \quad (2)$$

donde:

$C_0$  = concentración inicial

$C$  = Concentración después de un tiempo  $t$

$K$  = Constante de velocidad de reacción de primer orden

$D_t$  = Tiempo de reducción decimal, o sea el tiempo necesario para reducir la concentración un décimo de su valor original, a una temperatura determinada  $T$ .

La variación de  $D$  en función de la temperatura, ocurre en forma semejante a la Ecuación 1 y puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$\frac{D_{T_2}}{D_{T_r}(x)} = 10^{\left(\frac{T_r - T_2}{z(x)}\right)} \quad (3)$$

donde:

$z(x)$  = intervalo de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) que ocasiona una variación de 10 veces el valor de  $D_T$  en función del contenido de humedad en el producto.

$D_{T_r}(x)$  = tiempo de reducción decimal en función del contenido de humedad del producto, en una determinada temperatura de referencia ( $T_r$ ).

Combinando las ecuaciones 2 y 3, se obtiene:

$$\log\left(\frac{C_0}{C}\right) = \frac{t}{D_{T_2}} = \frac{t}{D_{T_r}(x)} 10^{\left(\frac{T_2 - T_r}{z(x)}\right)} \quad (4)$$

La ecuación 4 puede ser utilizada para la determinación de la concentración final, para una determinada temperatura  $T_2$ , considerando una temperatura de referencia  $T_r$ , después de un tiempo " $t$ " donde  $D_T$  y  $z$  son determinados en función del contenido de humedad del producto (GABAS *et al.*, 2003).

### 3.4 COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS JUGOS

Según Arévalo-Pinedo (2007), el conocimiento de las propiedades reológicas de los productos alimenticios es de gran interés en proyectos de ingeniería de procesos, para la obtención de información sobre la estructura o conformación de los constituyentes macromoleculares de los alimentos en el control de calidad de la materia-prima; del producto intermedio y del producto final después del procesamiento. Finalmente el

comportamiento reológico puede ser correlacionado con datos de análisis sensorial de la textura de los alimentos (BARBOSA-CÁNOVAS & VEJA-MERCADO, 1996).

En ese marco, conocer las propiedades reológicas de los alimentos, en este caso fluidos, es necesario en la industria de alimentos para desarrollar procesos, diseñar equipos y poner a punto operaciones así como para correlacionar con datos sensoriales y lograr optimizar características de calidad (CAYETANO *et al.*, 2013).

Los fluidos son clasificados en dos categorías. Existen los que obedecen a la ley de Newton, esto es que la relación entre la tensión de cizallamiento y la gradiente de velocidad es constante, son generalmente fluidos simples: agua, aceites, solventes orgánicos y soluciones de baja masa molecular como glucosa, sacarosa, etc. Todos los gases se encuadran dentro de esta categoría. Los fluidos que exhiben desvío de esta ley, es decir, cuando la relación entre la tensión de cizallamiento y la gradiente de velocidad no es constante, son denominados no Newtonianos. Los fluidos no Newtonianos son clasificados en categorías, de acuerdo con el desvío que presentan a la ley de Newton (ONOFRE, 1996).

Los fluidos pseudoplásticos están representados por productos como pulpa y jugos concentrados de frutas (VITALI *et al.*, 1983). Esta categoría agrupa a la mayoría de los fluidos de comportamiento no-Newtonianos y en este tipo de fluidos, la tensión de cizallamiento disminuye con el aumento de la gradiente de velocidad.

Silva (2001) en un estudio sobre el jugo de naranja trabajó con tres modelos reológicos: Bingham, Ostwald-De Waele y Herschel-Bulkley (Ecuaciones 5, 6 y 7) reportando que el modelo de Herschel -Bulkley, fue el que más se adecuó al comportamiento reológico del jugo de naranja.

$$\tau = \tau_0 + \mu_B \dot{\gamma} \quad (5)$$

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (6)$$

$$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n \quad (7)$$

donde:

$\tau$  = Tensión de cizallamiento, Pa

$\gamma$  = Tasa de deformación,  $s^{-1}$

$\tau_0$  = Tensión inicial de flujo, Pa

$\mu_B$  = Viscosidad plástica de Bingam, Pa-s

$K$  = índice de consistencia Pa.s

$n$  = índice de comportamiento del fluido, adimensional

#### **IV. MATERIAL Y MÉTODOS**

El trabajo de investigación se realizó en los Laboratorios de Investigación, Ingeniería y Diseño y Tecnología de No Alimentos de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, en la Planta Piloto de la FIAI, y en el Laboratorio de Química de la FEH de la UNSM-T. Ciudad Universitaria, Morales, Provincia y Región San Martín.

##### **4.1 Materia Prima**

La uva negra “Isabella” madura fue adquirida de las áreas de producción del distrito de San Antonio de Cumbaza, región San Martín. Este distrito se encuentra ubicado a una distancia aproximada de 12 Km desde la ciudad de Tarapoto.

##### **4.2 Reactivos**

- ✓ Agua desionizada
- ✓ Agua destilada
- ✓ Acetona
- ✓ Ácido gálico
- ✓ Ácido clorhídrico
- ✓ Ácido acético
- ✓ Cloruro de potasio
- ✓ Acetato sódico
- ✓ Carbonato de sodio
- ✓ Folin – Ciocalteu (ácidos fosfomolibídico y fosfotungstístico)
- ✓ Metanol
- ✓ Etanol

##### **4.3 Material y equipos**

- ✓ Balones de base cóncava (100 - 250 ml)
- ✓ Vasos de precipitación
- ✓ Embudos de vidrio
- ✓ Balones volumétricos de 5 mL, 10 mL y 100 mL
- ✓ Tubos de ensayo de 5 mL y 10 mL
- ✓ Papel de filtro cuantitativo
- ✓ Poli filme

- ✓ Micro pipetas (10 – 100 uL y 100 – 1000 uL)
- ✓ Punteras de 100 y 1000uL
- ✓ Pipetas Pasteur
- ✓ Pipetas de 2, 5 y 10 mL
- ✓ Guantes de goma
- ✓ Estufa
- ✓ Unidades de frío (refrigeración y congelación)
- ✓ pH – metro
- ✓ Refractómetro Abbe
- ✓ Extractor Soxhlet
- ✓ Rota evaporador a vacío BOECO RV 400 SD
- ✓ Ultrasonido
- ✓ Desionizador de agua destilada
- ✓ Agitador de tubos Vórtex
- ✓ Balanza analítica (mg)
- ✓ Centrífuga
- ✓ Espectrofotómetro UV-Vis GENESYS 6
- ✓ Reómetro rotacional “BROOKFIELD RVDV - III ULTRA”, equipado con adaptador de muestra.
- ✓ Spindle SC4-18

#### **4.4 Métodos**

La materia prima (uvas maduras frescas) fueron caracterizadas previamente (°Brix, acidez, color, peso, tamaño e índice de madurez). A seguir, las uvas fueron sometidas a operaciones de tratamiento preliminares; luego el licuado, tamizado y concentrado, utilizando evaporador de vacío. Se retiraron la cantidad necesaria de jugo de uva concentrado como muestras para cuantificar Antocianinas y Fenoles Totales. Para ello, se utilizó la metodología por Espectrometría UV-Visible y, para la determinación de parámetros reológicos, se utilizó el Viscosímetro Brookfield.

##### **4.4.1 Proceso de obtención del jugo de uva Isabella concentrada**

La materia prima fue adquirida desde los centros de expendio de racimos de uva provenientes de San Antonio de Cumbaza. Los racimos fueron seleccionados a partir de



criterios sensoriales u organolépticos homogéneos, principalmente el color y madurez fisiológica característicos. Estos fueron trasladados al Laboratorio de Investigación de la FIAI – UNSM para seguir el proceso siguiente presentado en la Figura 4.

**a) Pesado, desgranado y lavado**

Los racimos de uva fueron pesados, e inmediatamente desgranados de forma manual y sometidos a lavado con chorro de agua potable a temperatura ambiente, con la finalidad de eliminar material extraño a los granos de uva (insectos, restos vegetales, etc.).

**b) Secado y pesado**

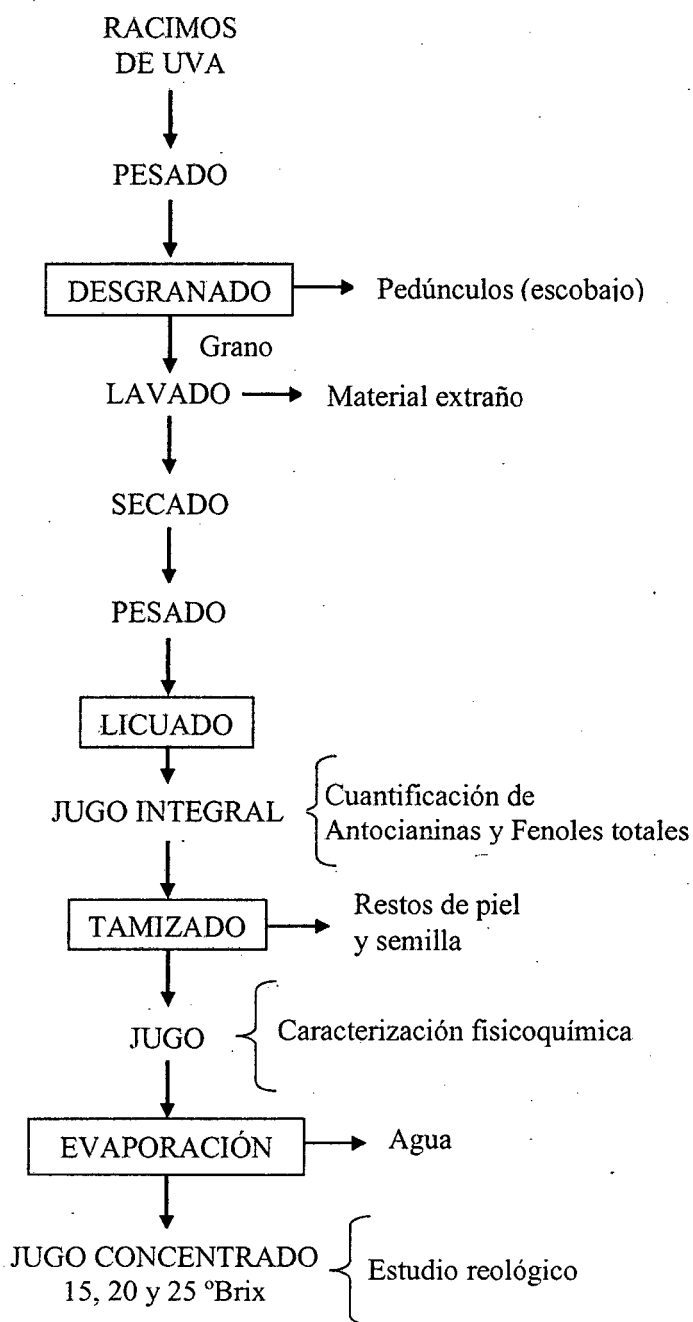
Las uvas enteras lavadas fueron colocadas en un contenedor que permita desalojar el agua residual de lavado por la parte inferior y, para facilitar el secado rápido se usó papel toalla. Se registró el peso de los granos de uva para el cálculo de rendimientos.

**c) Licuado y tamizado**

Los granos de uva fueron desintegrados en una licuadora y, el jugo integral obtenida fue pasada a través de un tamiz N° 40 (0.425 mm) con la finalidad de eliminar las partículas groseras que aún estaban en el jugo (piel y pepas).

**d) Concentración**

Con el uso de un evaporador rotatorio al vacío BOECO modelo RVO 400 SD, operando a 60 mbar de presión de vacío, 40 rpm y 35 °C, el jugo de uva fue concentrado eliminando parte del agua del jugo, hasta alcanzar la concentración deseada de 15, 20 y 25 °Brix.



**Figura 4.** Flujograma del jugo parcialmente concentrado de uva Isabella.

#### 4.4.2 Análisis fisicoquímico

El jugo tamizado fue sometida a varios análisis fisicoquímicos para su caracterización: pH, sólidos solubles (°Brix), acidez e densidad. Todos los análisis se hicieron por triplicado. La determinación del pH fue realizada en un aparato equipado con electrodo de vidrio y calibrado por el uso de soluciones padrones. Los sólidos solubles

fueron determinados por determinación de los grados Brix a 25°C, y se obtuvo utilizando un refractómetro de mesa Abbe con corrección incorporada de temperatura ajustando el cero con agua destilada. La acidez total se determinó por valoración potenciométrica y los resultados se expresan en mL de ácido tartárico/100 g de jugo.

Las medidas de Sólidos Solubles del jugo de uva fueron realizadas por el método refractométrico, ya que éste es comúnmente empleado en las industrias para la medida de sólidos solubles (azúcares y ácidos orgánicos) en frutas y productos derivados. La utilización de este método tiene como ventajas la velocidad para la obtención de la medida, la facilidad de manipulación y la cantidad de muestra necesaria. Una pequeña alícuota de muestra es colocada en el equipo y la lectura es realizada de forma directa (°Brix).

La acidez total del jugo de uva fue determinada siguiendo el procedimiento de Santos (2008) por titulación de una alícuota de muestra con base de normalidad conocida, utilizando fenolftaleína como indicador de punto de virada. Las muestras de 15 mL de jugo de uva fueron homogenizadas en 100 mL de agua destilada con el auxilio de una licuadora durante 30 s. Se prepararon tres alícuotas de 10 mL de solución, adicionando dos gotas de fenolftaleína en cada. Se determinó el volumen utilizando la titulación con solución de NaOH 0,1N y, se calculó la acidez total Titulable de las muestras (AOAC, 1995).

La densidad fue determinada por la relación peso volumen por duplicado. Para ello los picnómetros fueron lavados con agua destilada y acetona asegurando así que no contenga sustancias adheridas en su interior y luego secados en estufa a 100 °C durante 20 minutos, enfriados en una campana desecadora y posteriormente pesados. Luego los picnómetros fueron calibrados con agua destilada hervida y fría obteniéndose así el volumen del picnómetro a través de la siguiente ecuación:

$$V_{pic} = \frac{m_w}{\rho_w} \quad (8)$$

donde:

$V_{pic}$  = volumen del picnómetro (cm<sup>3</sup>)

$m_w$  = masa de agua (g)

$\rho_w$  = densidad del agua a 25 °C (0.99708 g/cm<sup>3</sup>)

Después de la calibración de los picnómetros se determinó la densidad del jugo de uva a la misma temperatura y condiciones, teniendo en cuenta que el líquido que sale por el capilar del picnómetro debe ser limpiado con papel filtro. Luego de obtener el respectivo peso de cada muestra se relaciona mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m_{jugo}}{V_{Pic}} \quad (9)$$

donde:

$\rho$  = Densidad del jugo de uva

$m_{pulpa}$  = Masa de la muestra.

$V_{Pic}$  = Volumen del picnómetro.

La composición de la humedad, cenizas y nitrógeno total del jugo de uva fresca fueron determinadas de acuerdo a AOAC (1995). Lípidos totales fueron determinados por el método de extracto etéreo (Soxhlet) AOAC (1995). Las determinaciones fueron realizadas en triplicado.

#### 4.4.3 Cuantificación de Antocianinas Totales

- ✓ Para este estudio fueron utilizados extractos previamente preparados por la maceración e inmersión del jugo integral de uva ~5g en HCl 1% en metanol o etanol por 24 h en una proporción 1/5 jugo/metanol (m/v), en ausencia de luz, seguido de filtración con papel de filtro cuantitativo.
- ✓ El residuo es nuevamente sometido a extracción – lavado con metanol acidificado hasta extracción completa de los pigmentos.
- ✓ Después de la extracción de las antocianinas, los extractos brutos son combinados y concentrados utilizando evaporador rotativo a vacío a temperatura inferior a 40 °C.
- ✓ En balones volumétricos de 10 mL son disueltos de 150,0 a 170,0 mg de extracto seco con agua *desionizada*. Seguidamente ~400 uL de la solución estoque de los extractos son adicionados, completándose el volumen con la solución tampón de pH 1,0 o pH 4,5, ultrasonificado y reaccionando por 15 min. En seguida la absorbancia es medida en la longitud de onda máxima de cada extracto.

#### **4.4.4 Cuantificación de Fenoles Totales**

- ✓ Un gramo de jugo concentrado fue sometido a extracción en tres tiempos con acetona al 80%, durante un periodo de 20 horas.
- ✓ El extracto fue concentrado con un evaporador a vacío hasta un volumen final de 30 – 40 ml, filtrado a través de un filtro cuantitativo y llenado con agua desionizada hasta un volumen final de 100 mL.
- ✓ Luego fueron transferidos 100  $\mu$ L de contenido fenólico del extracto a un balón volumétrico de 10 mL.
- ✓ Dos mL de agua desionizada y un mL del reactivo de Folin – Ciocalteu fueron adicionados a la mezcla y luego homogenizado por agitación.
- ✓ Luego cinco mL de una solución de carbonato de sodio al 20% fueron adicionados inmediatamente.
- ✓ El volumen de la solución fue completado con agua desionizada hasta un volumen final de 10 mL y después de 20 min, la lectura de absorbancia a 765 nm fue realizada en el espectrofotómetro UV-Vis.

#### **4.4.5 Cinética de degradación térmica de las Antocianinas Totales**

El estudio de la cinética de degradación térmica de las Antocianinas Totales fue realizada a temperaturas de 70, 80 y 90°C y a tiempos 5, 10, 15 y 20 minutos, teniendo como variable respuesta el contenido de Antocianinas Totales en base seca. Para que el efecto del tratamiento sea homogéneo en el jugo de uva, se utilizó el rotavapor a 100 rpm por el tiempo y temperatura indicada.

#### **4.4.6 Determinación de parámetros reológicas**

- ✓ Las medidas reológicas del jugo de uva fueron determinadas en el viscosímetro rotacional BROOKFIELD RVDV - III ULTRA, equipado con cilindros concéntricos y control de temperatura.
- ✓ Los ensayos fueron realizados por triplicado. Las velocidades rotacionales del cilindro interno se mantuvieron en la franja de 10 a 200 rpm. Para cada velocidad rotacional, el equipo midió el torque correspondiente.
- ✓ Las medidas reológicas de los jugos fresco y concentrado fueron determinadas a temperaturas de 20, 30 y 40°C. Los valores experimentales, tensión de

cizallamiento y velocidad de deformación fueron ajustados utilizando los modelos reológicos de Oswald-de-Waele (Ley de la Potencia), Casson y Herschel-Bulkley.

#### **4.4.6.1 Sistema operacional Brookfield RVDV-III Ultra**

Después de calibrar el equipo se instaló el spindle cónico SC4 – 18 para pequeñas muestras, luego se colocó en el vaso del sistema sensor SC4 – 13 R 6.7 ml de jugo de uva (cantidad recomendada para las condiciones), se estableció la temperatura requerida (el equipo posee adaptador con sistema de circulación de fluidos por chaqueta) y se procedió finalmente a realizar las lecturas respectivas.

Se registraron todos los puntos posibles en el modo de trabajo manual que son: 25 velocidades expresado en rpm las mismas que fueron convertidas a velocidades de deformación ( $\dot{\gamma}$ ), se trabajó con un mínimo de  $1,32 \text{ s}^{-1}$  hasta un máximo de  $330 \text{ s}^{-1}$  ya que el spindle SC4 – 18 permite llegar a este rango de velocidad de deformación, que se encuentra dentro del rango de trabajo de flujo en tuberías para el bombeo de líquidos (Brookfield Engineering Labs, 2008). Cada punto de medición fue hecho en intervalos de tiempo de 10 segundos. Es importante destacar que los ensayos fueron analizados por triplicado para garantizar reproductibilidad.

#### **4.4.6.2 Cálculo de parámetros reológicos**

Para representar los valores de esfuerzo de corte frente a la velocidad de deformación, se construyeron reogramas para cada concentración y temperatura en estudio. Los valores experimentales obtenidos se ajustaron con el software Microcalc Origin 5.0; utilizando el mismo, el método de los mínimos cuadrados para los modelos matemáticos de: Ostwald de Waele (ley de la potencia), Herschel-Bulkley, y el modelo de Casson. Se destaca que estos modelos son ampliamente utilizados para caracterizar reológicamente purés y jugos de frutas y hortalizas. El mejor ajuste de los datos experimentales fue establecido utilizando el software Microcalc Origin 5.0, para los siguientes parámetros estadísticos.

- ✓ **Coefficiente de determinación ( $R^2$ ):** Indica la proporción de la variación total que está siendo explicada por la regresión. Además ofrece una idea de la calidad del

ajuste del modelo y los datos. Dicho de otro modo, mide la estrechez de la relación.

- ✓ **Chi cuadrado ( $\chi^2$ ):** Expresa la diferencia existente entre los valores experimentales y los valores previstos por el modelo.

#### 4.4.6.3 Cálculo del efecto Temperatura - Concentración

En las determinaciones reológicas, uno de los efectos más importantes es la influencia que ejerce la temperatura y la concentración sobre la viscosidad de cualquier fluido alimenticio. Para el jugo de uva se determinó el efecto de la temperatura con la ecuación de Arrhenius  $K = K_0 \cdot \exp(E_a/R.T)$ , para el efecto de la concentración se determinó mediante los modelos potencial  $K = K_1 \cdot C^{A_1}$  y exponencial  $K = K_2 \cdot \exp(A_2 \cdot C)$  para el índice de consistencia. El efecto combinado de estos dos parámetros se determinó en una sola expresión analizando cuatro ecuaciones diferentes (Ecuaciones 10, 11, 12 y 13) para el índice de consistencia ( $K$ ) e índice de flujo ( $n$ ).

Las pulpas y/o jugos de productos derivados de frutas y hortalizas principalmente, están sometidos a cambios estructurales debido a procesos de transformación y, reflejados en parámetros de temperatura y concentración utilizadas. Resulta necesario conocer que a través de una única expresión se pueda relacionar la viscosidad o el índice de consistencia ( $K$ ) del fluido con la concentración de la pulpa y temperatura de trabajo, ya que el comportamiento al flujo del producto condiciona de alguna forma los fenómenos de transferencia relacionado a la cantidad de movimiento y de calor. Las ecuaciones de utilidad son las siguientes:

$$y = \exp^{a_1 \cdot T} \cdot C^{a_2} \quad (10)$$

$$y = a_1 \cdot \exp^{a_2 \cdot T} \cdot C^{a_3} \quad (11)$$

$$y = \exp^{a_1/T} \cdot C^{a_2} \quad (12)$$

$$y = a_1 \cdot \exp^{a_1/T} \cdot C^{a_3} \quad (13)$$

donde:

$y = K$  o  $n$  (índice de consistencia o índice de flujo).

$a_1, a_2, a_3$  = son constantes a ser determinadas.

#### **4.4.7 Análisis estadístico**

Los resultados de los análisis físico-químicos fueron presentados como media y estimativa de desvío padrón. Para evaluar el comportamiento de la Antocianina Total en el proceso de tratamiento térmico (degradación térmica) del jugo de uva se utilizó un Diseño Completo al Azar con 3 tratamientos y cuatro repeticiones, totalizando 12 ensayos, sin llevar al Análisis de Variancia por la evidencia de la influencia de la temperatura (70, 80 y 90 °C) en la degradación de las Antocianinas Totales.

El estudio del comportamiento reológico del jugo fue realizado con los modelos expresados en las Ecuaciones 5, 6 y 7, y el análisis estadístico para el ajuste de los datos experimentales a los modelos, se realizó con el programa Statística 5,0.

Para evaluar el efecto de la concentración y la temperatura en los índices de consistencia ( $K$ ) y de flujo ( $n$ ) como resultado del modelo matemático de Ostwald de Waelle (Ley de la potencia), se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial (4 x 3) con tres repeticiones, totalizando 36 ensayos. Así mismo, se utilizó o test de Tuckey para ordenar los valores promedios del índice de consistencia ( $K$ ).

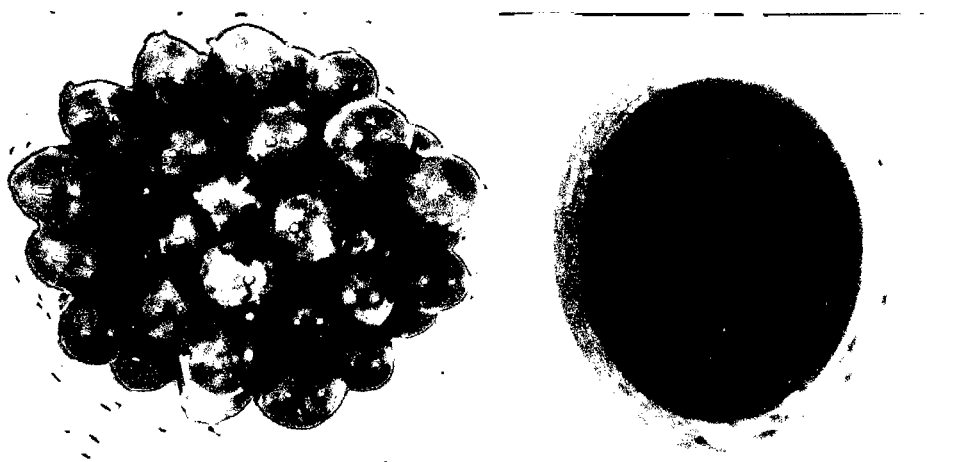


## **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1 Caracterización fisicoquímica del jugo de uva**

El jugo de uva Isabella se obtuvo de racimos y granos seleccionados, es decir de granos limpios, lavados, secos, enteros y sanos, de color negro a violeta característico y que para obtener el jugo finalmente, ésta fue tamizada en malla N° 40 (0,425 mm).

Como el procedimiento seguido para obtener el jugo de uva para este estudio, pasa por una etapa de licuado o desintegración del grano entero, que busca comprometer o integrar las sustancias bioactivas presentes en el hollejo (cáscara o piel) y la semilla, a la pulpa propiamente dicha. Por lo que, el jugo de la uva en estudio está constituida principalmente por la pulpa (mesocarpio y endocarpio), parte de la cáscara u hollejo (exocarpio y epidermis) y semilla (Figura 5).



**Figura 5.** Granos y jugo integral de uva Isabella

En el Cuadro 1 se presenta la composición centesimal del jugo de uva y que resulta con una humedad de 86,22%, mayor a de la que reporta el Instituto Nacional de Salud – Perú (2009), 77%. Este último probablemente se refiere al jugo de uva integral (sin tamizar) y producida en la costa peruana. Los sólidos que no pasaron el tamiz pueden haber comprometido parte de las proteínas y carbohidratos, por lo que resultaran en menor proporción que lo encontrado en las Tablas Peruanas de Composición de Alimentos del (2009) Instituto Nacional de Salud – Perú (2009), (proteína 90% y carbohidratos 21,30%, base húmeda). En relación a la cantidad de cenizas, su bajo valor es debido al efecto de la

eliminación de los sólidos groseros que no pasaron el tamiz, es decir parte de la cáscara u hollejo (exocarpo y epidermis) y semilla de los granos de uva.

**Cuadro 1.** Composición centesimal del jugo de uva Isabella

<i>Composición</i>	<i>%</i>
Humedad	86,22
Proteínas	0,48
Lípidos	0,44
Cenizas	0,15
Carbohidratos	12,71

En cuanto a las características fisicoquímicas encontramos que el pH, Acidez Titulable y Sólidos Solubles son próximos a lo relatado por Castañeda (1992) (pH 3,0, Acidez Titulable 1,35 de ácido tartárico mL/100 mL de jugo y Sólidos Solubles 12 °Brix), que también investigó la uva Isabella proveniente de la región San Martín. Entre tanto para los valores de Índice de Madurez y Densidad resultaran ligeramente mayores 11,06 y 1,0654 g/cm<sup>3</sup> respectivamente. Esto probablemente debido a un mayor contenido también en Sólidos Solubles o azúcares como consecuencia de racimos o granos maduros o comercialmente maduros o expeditos para consumo (Cuadro 2). La diferencia en las características fisicoquímicas de un producto fresco alimenticio, siempre responde a factores relacionados con la variedad, suelo, clima, labores culturales, cosecha y postcosecha.

**Cuadro 2.** Características fisicoquímicas del jugo de uva Isabella.

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
pH	3,02 ± 0,01
Acidez Titulable (mL de ácido tartárico/100 mL de jugo)	1,13 ± 0,04
Sólidos Solubles (°Brix)	12,5
Índice de Madurez	11,06
Densidad g/cm <sup>3</sup>	1,0654 ± 0,008

## 5.2 Antocianinas Totales y Fenoles Totales

Es la primera vez que se reporta el contenido de polifenoles de la uva Isabella producida en San Antonio de Cumbaza que presenta en antocianinas totales 79,1 ± 4,2 mg/100 g de jugo expresado en cianidina 3-glucósido y fenoles totales 4238,2 ± 388,8 mg EAG/100 g de jugo (Cuadro 3). Para cuantificar los fenoles totales fueron determinados a

partir de la curva patrón de ácido gálico que se representa en la Figura 6. Comparando con el estudio reportado recientemente por JK da Silva, et al., (2016) sobre los cultivares de dos uvas negras de la EMBRAPA – Brasil, el contenido en FT de la uva Isabella de San Antonio es superior a los jugos de uva BRS-Cora ( $221,6 \pm 1,83$  mg GAE 100 ml<sup>-1</sup>) e Isabella – Brasileira ( $74,86 \pm 4,25$  mg GAE 100 ml<sup>-1</sup>), pero menor en relación a las AT (BRS-Cora  $73,88 \pm 1,30$  mg cianidina-3-glucósido 100 ml<sup>-1</sup> e Isabella – Brasileira  $15,40 \pm 0,20$  mg cianidina-3-glucósido 100 ml<sup>-1</sup>), ambos contenidos comparados en base húmeda. Por otro lado Terci, (2004) también encontró para la uva negra *Vitis vinifera* un resultado próximo en antocianinas totales  $178 \pm 3$  mg/L a Isabella – Brasileira.

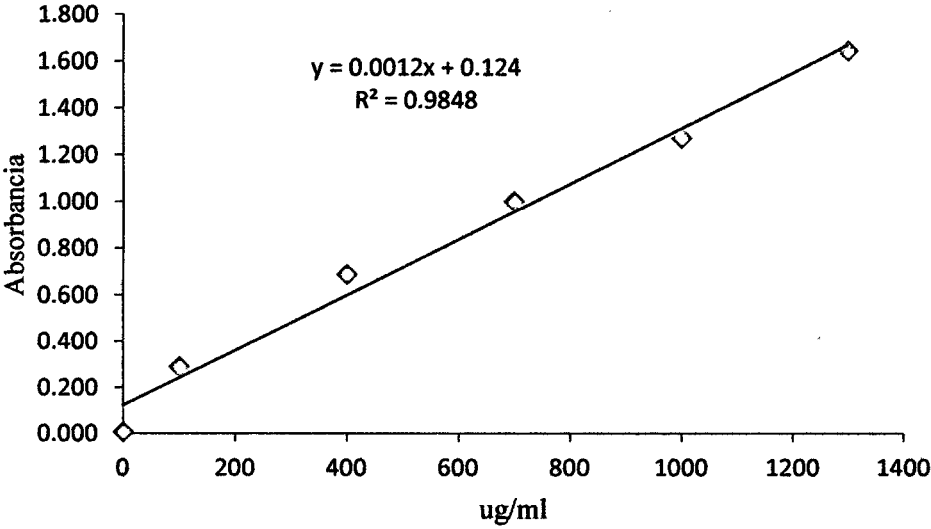
En un estudio sobre bagazo de uva (*Vitis vinifera*) de las variedades Pinot Noir y Regente, Rockenbach y colaboradores (2007) encontraron alto contenido de FT alcanzando en peso seco, 7852 mg GAE/100g en la variedad Pinot Noir y 5334 mg GAE/100g en la variedad Regente, ambos contenidos ligeramente superior al encontrado en el jugo de uva Isabella estudiado.

Probablemente el alto valor del contenido de fenoles totales se debe a la presencia de otros compuestos fenólicos además de las antocianinas, que normalmente están presentes en las uvas como pueden ser el grupo de los flavonoides y no flavonoides. Del primer grupo forman parte los flavanois (catequina, epicatequina y epigallocatequina), flavonóis (caempferol, quercetina e miricitina). En el segundo grupo están los ácidos fenólicos, hidroxibenzóicos e hidroxicinámicos (CABRITA *et al.*, 2003). Además de estos compuesto se podría encontrar el resveratrol, polifenol perteneciente a la clase de los estilbenos (ABE *et al.*, 2007).

Es importante resaltar que las cantidades de sustancias bioactivas presentes en frutas en general varían en función de la especie, clima, entre otros factores (TERCI, 2004), además del proceso seguido para la obtención del jugo. Así, en relación a las antocianinas totales se observa que el contenido del jugo de uva integral (pulpa y piel) difiere según el tipo de solvente usado. El metanol tiene mayor capacidad de extracción que el etanol, es decir aproximadamente 13% más. El metanol es usado con frecuencia para efectos de cuantificación máxima de las antocianinas presentes en las diferentes matrices alimenticias, pero tiene la desventaja de ser más tóxico que el etanol.

**Cuadro 3.** Antocianinas Totales y Fenoles Totales del jugo de uva Isabella

<i>Solvente</i>	<i>AT</i> (mg/100 g de jugo)		<i>Media</i>	<i>DP</i>	<i>Media±DPn=3</i>
	<i>bh</i>	<i>bs</i>			
Etanol	9,6246	69,845	70,03	1,37	70,03 ± 1,4
	9,8508	71,486			
	9,4748	68,758			
Metanol	10,350	75,109	79,1	4,15	79,1 ± 4,2
	11,492	83,397			
	10,850	78,735			
	<i>FT</i> (mg EAG/100 g de jugo)				
Acetona 80%	580,4	4212,1	4238,2	388,77	4238,2 ± 388,8
	532,3	3863,1			
	639,3	4639,4			



**Figura 6.** Curva patrón de ácido gálico determinada para cuantificar fenoles totales en el jugo de uva Isabella integral.

### 5.3 Cinética de degradación térmica de las antocianinas

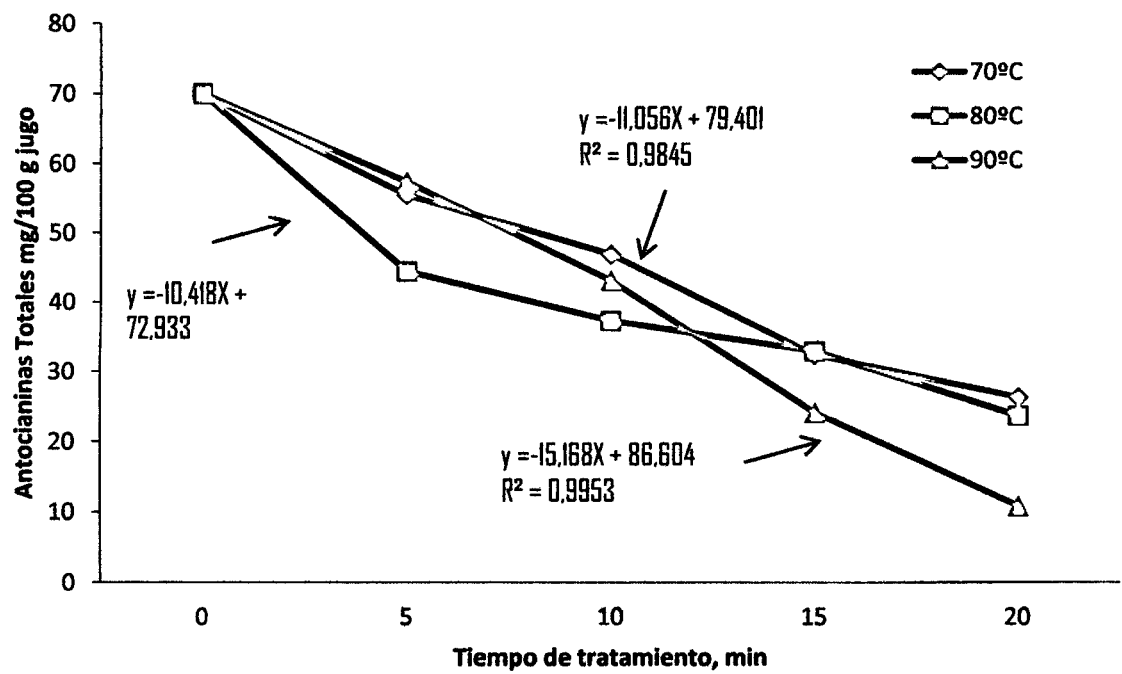
Para el estudio de la cinética de degradación térmica de las antocianinas se utilizó etanol para la cuantificación, siendo suficiente para determinar el efecto de los tratamientos, más aún por ser un solvente menos tóxico. En el Cuadro 4 y Figura 7 se observa que el efecto de la temperatura es negativo desde el inicio del tratamiento, es decir ocurre degradación de las antocianinas y muy probablemente mayor a 20 minutos de tratamiento térmico se podría alcanzar a una degradación mucho mayor. Esto indica el grado de sensibilidad que tienen las antocianinas al tratamiento térmico (concentración) más aún asociado a la acidez baja del jugo, que normalmente son parámetros que rigen para la elaboración de concentrados en jugos, mermeladas y néctares de frutas (ADAMS, 1973; RASSIS & SAGUY, 1995; MESCHTER (1954), citado por MALACRIDA & MOTTA, 2005; KIRCA *et al.* 2006; PEREIRA, 2008). Estas condiciones provocan el mecanismo de degradación térmica por calentamiento de las antocianinas provocando la hidrólisis de la estructura glucosilada formando posteriormente chalcona, asociado a la pérdida del color rojo del jugo de uva (ADAMS, 1973; SARNI-MANCHADO *et al.*, 1996). Se observa que a medida que aumenta la concentración de los sólidos solubles el efecto degradativo de las antocianinas se vuelve más severo y rápido debido al mecanismo de evaporación del agua a través de una combinación de calor por convección y conducción, como resultado del aumento de la viscosidad (SARAVACOS, 1970).

**Cuadro 4.** Antocianinas Totales en el jugo de uva Isabella (mg/100 g de jugo) a diferentes tratamientos de temperatura y tiempo.

<i>min</i>	<i>70°C bs</i>	<i>Media</i>	<i>80°C bs</i>	<i>Media</i>	<i>90°C bs</i>	<i>Media</i>
5	56,57		45,82		55,45	
	55,34	55,52	42,72	44,45	60,33	57,40
	54,64		44,81		56,43	
10	48,84		36,24		38,45	
	45,88	46,92	38,10	37,28	46,08	43,13
	46,05		37,51		44,86	
15	32,44		33,83		24,54	
	31,50	32,37	35,49	32,92	22,93	24,09
	33,15		29,45		24,81	
20	25,41		25,12		10,77	
	26,93	26,33	27,72	23,70	11,25	10,85
	26,63		18,28		10,52	

Las curvas y las ecuaciones con pendiente negativa que se muestran en la Figura 6 explican en términos generales que a mayor temperatura mayor degradación de las antocianinas, con el particular, que a partir del minuto 12,5 se evidencia con mayor precisión. Del mismo modo, a mayor tiempo de tratamiento térmico mayor la degradación de las antocianinas. Por ello, la estabilidad de las antocianinas sigue siendo un problema para la industria de alimentos, porque además de la temperatura, otros factores también influyen en su degradación como cuando interactúan con el ácido ascórbico, metales, azúcares, oxígeno, luz y enzimas, produciendo polímeros (FRANCIS, 1982; BOBBIO & BOBBIO, 1992, ARCE, 2008).

Todo esto explica la necesaria aplicación de vacío para concentrar el jugo de uva, que vaya a garantizar una cantidad adecuada o deseada de antocianinas y otros fenoles. Para ello se debería diseñar y utilizar un equipamiento que permita evaporar parte del agua a una temperatura máxima de 40°C es decir en función de las antocianinas por su importancia reconocida, principalmente por su actividad antioxidante, con la aplicación del vacío necesario.



**Figura 7.** Cinéticas de degradación térmica de las antocianinas totales presentes en el jugo de uva Isabella.

#### 5.4 Pruebas preliminares de concentración del jugo de uva

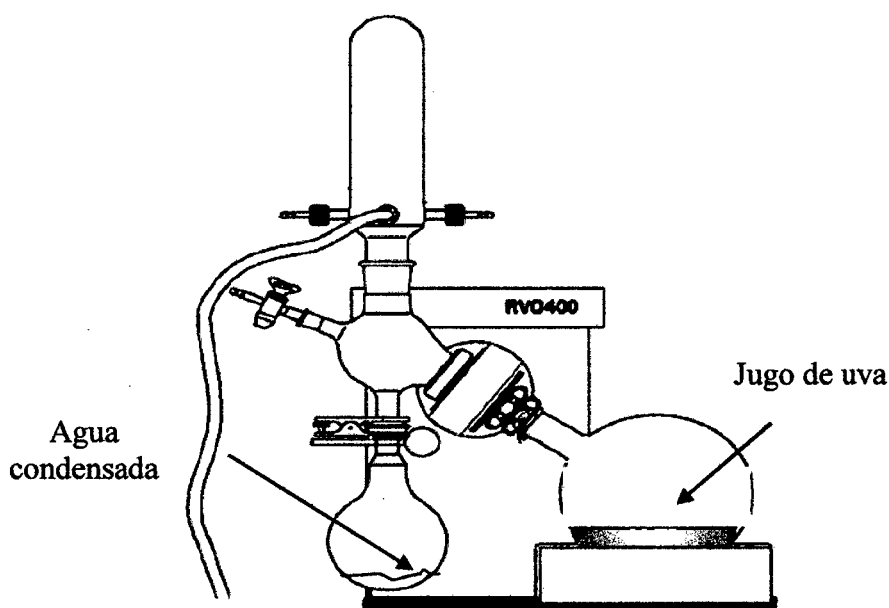
Como no se dispone de un evaporador al vacío se evaluó la concentración del jugo de uva, a las condiciones del rotaevaporador que utiliza una bomba que genera vacío mínimo, es decir ligeramente inferior a 1 atm. Utilizando 200 mL de jugo de uva para cada ensayo se evaluaron los parámetros de temperatura y tiempo para concentrar el jugo de uva a las condiciones de laboratorio. El rotaevaporador trabajó 986 mbares de presión de vacío y a 100 rpm (Figura 8), permitiendo conocer la concentración final en sólidos solubles a determinadas condiciones de tiempo y temperatura.

Entre 60 y 65°C podemos llegar a una concentración máxima de 53°Brix (Cuadro 5) en un tiempo mínimo de 45 minutos y que, se consigue evaporar aproximadamente el 75,7% de agua. Sin embargo, estas condiciones del tratamiento térmico estaría afectando la presencia de los compuestos polifenoles, en especial de las antocianinas que son sensibles a degradarse a temperaturas mayores a 40°C. Las temperaturas de estudio responden a las características de los procesos comunes para productos en las que se evapora parte del agua del jugo y pulpa de frutas.

La evaporación a menudo se lleva a cabo en condiciones de vacío a fin de aumentar la velocidad de evaporación y reducir el punto de ebullición de la solución de modo que se reduzca al mínimo la degradación de sustancias de interés del producto ocasionada por el calor (MARKAKIS, 1982; SHARMA *et al.*, 2003).

**Cuadro 5.** Pruebas preliminares de velocidad de concentración de jugo de uva

<i>Ensayo</i>	<i>T°C</i>	<i>minutos</i>	<i>Total min</i>	<i>°Brix final</i>
1	40, 50, 55 y 60	10, 10, 20 y 15	55	50,4
2	40, 50, 55 y 60	10, 25, 25 y 30	90	53
3	50, 60 y 65	25, 25 y 17	67	53
4	65	45	45	53



**Figura 8.** Evaporador rotativo utilizado en la concentración del jugo de uva.

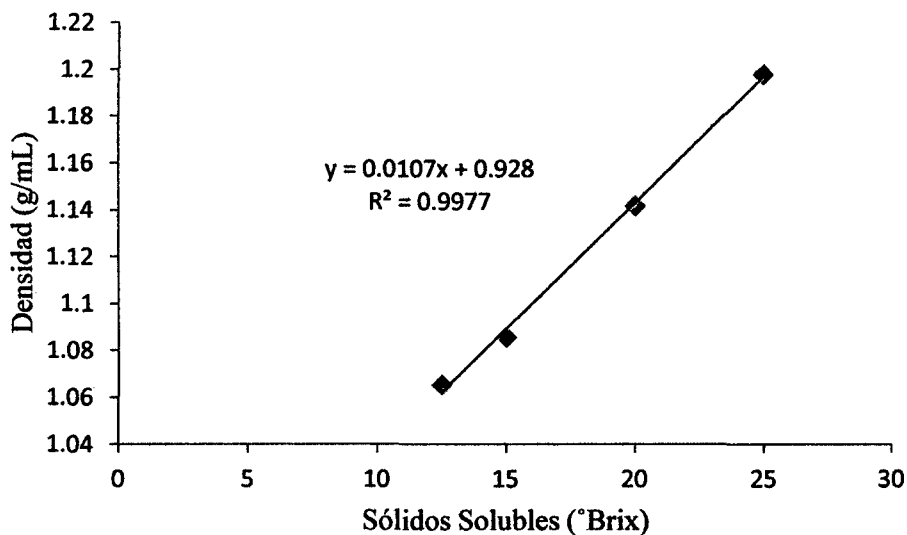
### 5.5 Efecto de la concentración sobre la densidad del jugo de uva

En cuanto a la densidad del jugo de uva Isabella, ésta presenta concordancia con los valores obtenidos por Alvarado y Romero (1989), que estudiaron la variación de la densidad en función de la temperatura obteniendo 1,054 g/cm<sup>3</sup> a 20 °C; 1,051 g/cm<sup>3</sup> a 30 °C y 1,045 g/cm<sup>3</sup> a 40 °C. En la evaluación del efecto de la concentración (°Brix) sobre la densidad del jugo de uva Isabella (Figura 9) se observa que, a medida que el jugo aumenta su concentración en sólidos solubles (°Brix), la densidad también aumenta respondiendo a la siguiente expresión matemática:  $\rho = 0,0107 (^\circ\text{Brix}) + 0,928$ , con coeficiente de  $R^2 = 0,9977$ .

**Cuadro 6.** Valores promedio de densidad del jugo de uva Isabella a diferentes concentraciones.

<i>°Brix</i>	<i>Densidad g/cm<sup>3</sup></i>
12,5	1,0654 ± 0,0080
15,0	1,0856 ± 0,0155
20,0	1,1418 ± 0,0021
25,0	1,1977 ± 0,0037





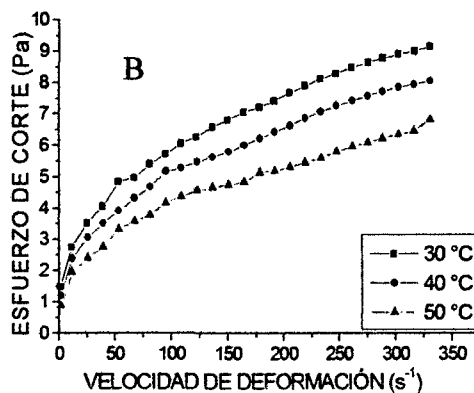
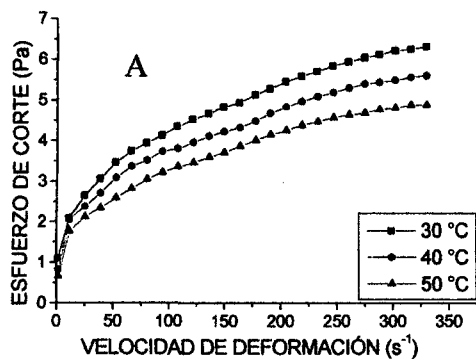
**Figura 9.** Efecto de la concentración (°Brix) sobre la densidad del jugo de uva Isabella

## 5.6 Caracterización reológica del jugo de uva

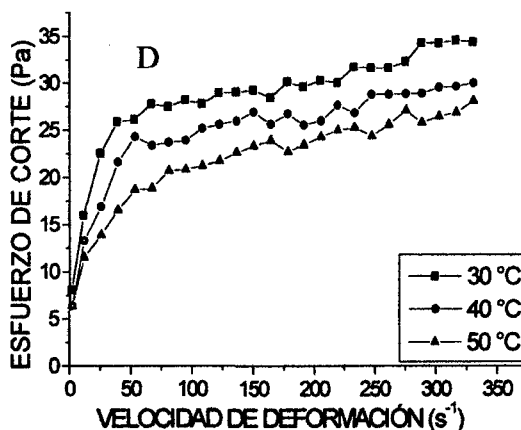
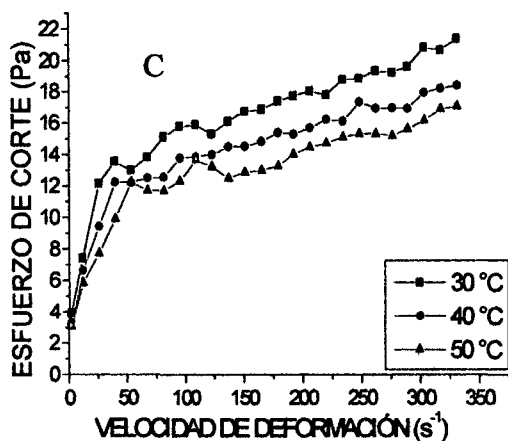
### 5.6.1 Análisis de los reogramas

En las Figuras 10 y 11 se observa que los valores del esfuerzo de corte ( $\tau$ ) aumentan al aumentar la velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ), mucho más notorio a velocidades iniciales, independiente de la concentración del jugo. Esto es una característica propia de los fluidos pseudoplásticos concordando con (MÜLLER, 1973). Además, a una misma velocidad de deformación los valores del esfuerzo de corte disminuyen con el incremento de la temperatura, coincidiendo con Helena (1999), explicando que al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad de la fase líquida, y aumenta el movimiento de las partículas en suspensión. Esa disminución de la viscosidad del jugo conlleva a que el esfuerzo de corte disminuya.

Se observa también que a medida que se incrementa la concentración de los fluidos o en nuestro caso del jugo de uva, éstos son más complejos de estudiar experimentalmente, ya que la medida puede presentar efectos tales como deslizamiento de pared, sedimentación, migración, etc. De no ser cuantificados y controlados, estos pueden ser fuente de errores significativos y sistemáticos en los cálculos, lo cual a su vez puede repercutir en diseños de ingeniería defectuosos (BROOKFIELD ENGINEERING LABS, 2008).

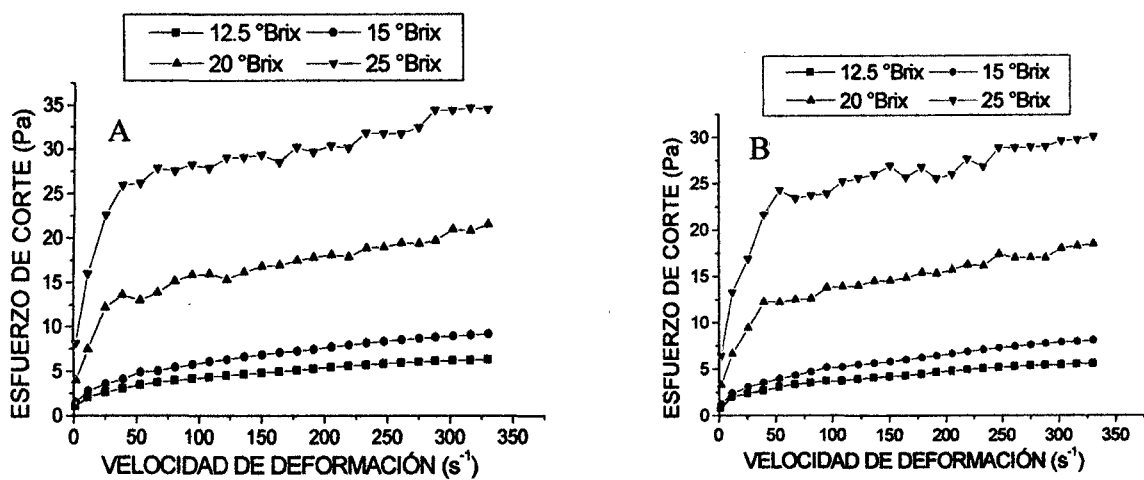


**Figura 10.** Reograma del jugo de uva Isabella a 12,5 °Brix (A) y 15,0 °Brix (B) a temperaturas de 30, 40 y 50°C.

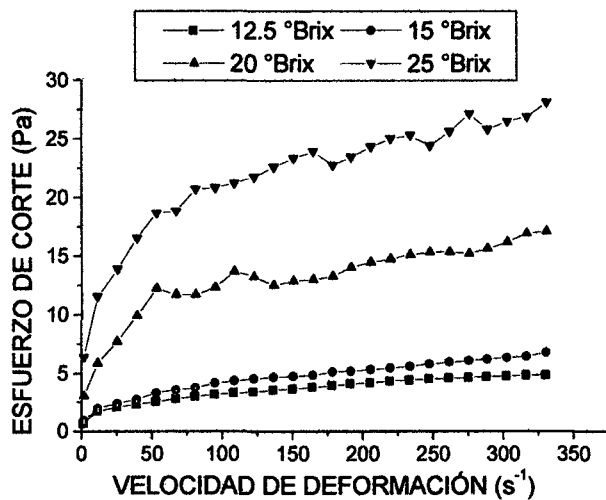


**Figura 11.** Reograma del jugo de uva Isabella a 20,0 °Brix (C) y 25,0 °Brix (D) a temperaturas de 30, 40 y 50°C.

Observando los reogramas de las Figuras 12 y 13, obtenidas a temperaturas de 30, 40 y 50°C del jugo de uva, resulta evidente que, el esfuerzo de corte aumenta con los incrementos de la velocidad de deformación y la concentración del jugo. Se observa gráficamente incrementos constantes del esfuerzo de corte en la medida que se incrementa las concentraciones del jugo de 15, 20 y 25 °Brix.



**Figura 12.** Reograma para el jugo de uva Isabella a 30°C (A) y 40°C (B) a concentraciones de 12,5; 15,0; 20,0 y 25,0 °Brix.

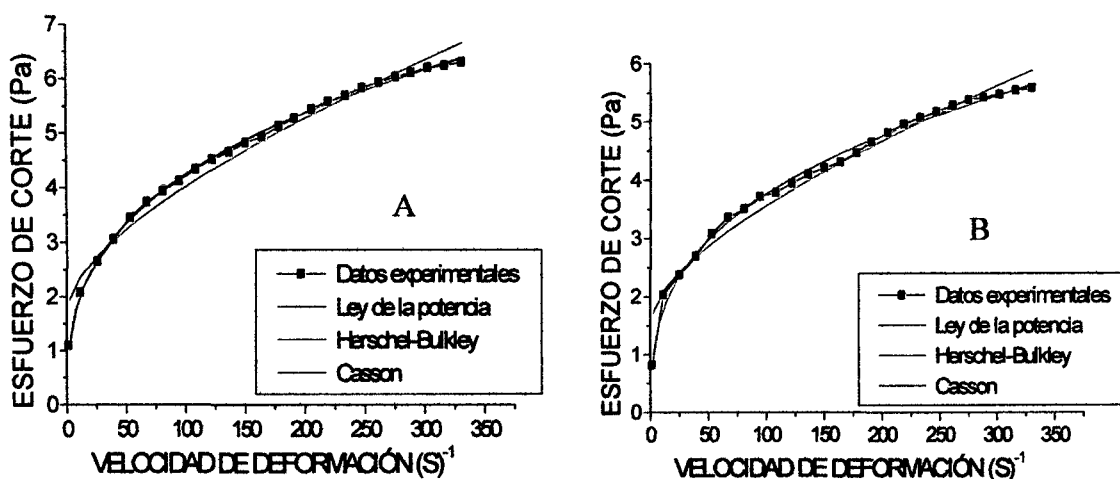


**Figura 13.** Reograma para el jugo de uva Isabella a 50°C a concentraciones de 12,5; 15,0; 20,0 y 25,0 °Brix.

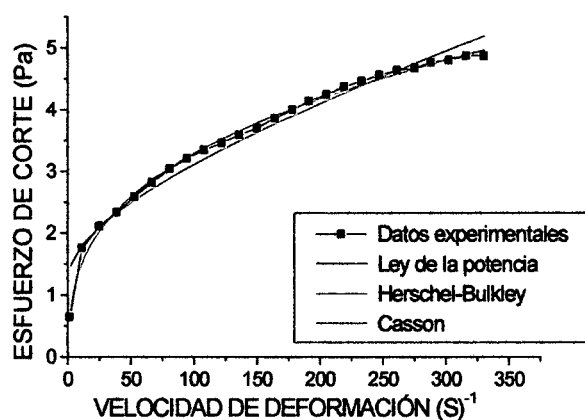
### 5.6.2 Parámetros reológicos según los modelos matemáticos

Las Figuras del 14 al 21 representan las curvas del esfuerzo de corte versus velocidad de deformación de los datos experimentales y de los modelos matemáticos optados, que resultan bastante similares cuando comparadas en relación a las temperaturas estudiadas para el jugo de uva. Además se observa que la curva de los datos experimentales tiene un comportamiento pseudoplástico típico de los jugos y pulpas concentrados de frutas (VITALI *et al.*, 1983), existiendo igualmente una proximidad con las curvas que generan los modelos matemáticos, en la que se resalta los modelos de Ostwald de Waelle y Herschel-Bulkley.

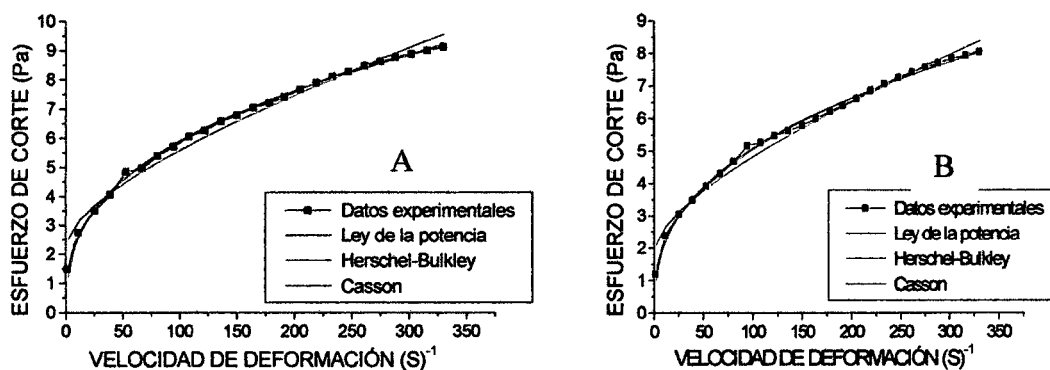
Cabe resaltar, que a medida que aumenta la concentración (°Brix) del jugo de uva, aumenta también la dispersión de los puntos experimentales generado propiamente por la disminución de la fase acuosa del jugo, según Mazile (1997) esto es debido a la formación de hidratos por los iones y moléculas en presencia de concentraciones elevadas.



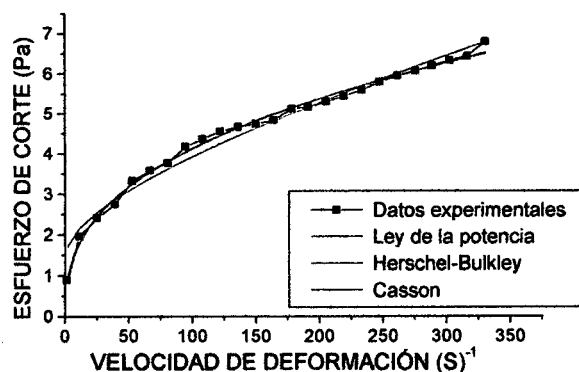
**Figura 14.** Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 12,5 °Brix, 30°C (A) y 40 °C (B).



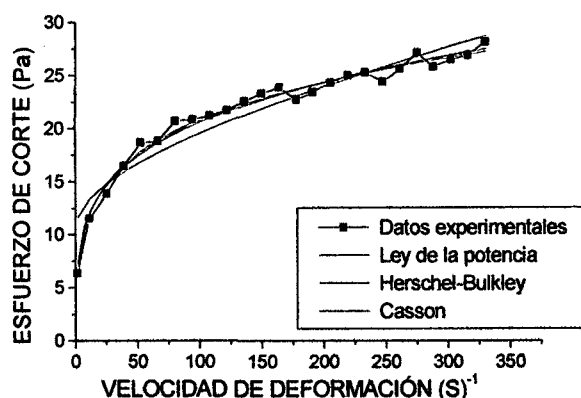
**Figura 15.** Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 12,5 °Brix y 50°C.



**Figura 16.** Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 15 °Brix a 30 °C (A) y 40 °C (B).



**Figura 17.** Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 15 °Brix y 50 °C.



**Figura 21.** Ajuste de los datos experimentales con los modelos matemáticos para el jugo de uva Isabella a 25 °Brix y 50 °C.

En relación a los parámetros de los modelos matemáticos (Cuadros 7, 8 y 9), el modelo de Herschel-Bulkley es el que presenta los valores más altos del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) entre 95,6 a 99,9%, sin embargo, el esfuerzo umbral ( $\tau_0$ ) para las concentraciones de 12,5, 20,0 y 25,0 °Brix reportan valores negativos. Guilherme (1995) y Pimentel (1997) también encontraron valores negativos de tensión inicial ( $\tau_0$ ) para el jugo de naranja concentrado a 55 °Brix y jugo de acerola, considerando que estos valores no tienen significado físico y que posiblemente, responden a la interferencia de los cristales de gel en los ensayos con bajas tasas de deformación, concluyendo que el esfuerzo umbral para este tratamiento no describe necesariamente el comportamiento del fluido, sugiriendo el uso de un modelo más simple y sin esfuerzo umbral cuando se presentan estos casos.

Para este estudio, el comportamiento reológico del jugo de uva Isabella a diferentes concentraciones puede ser predicho por el modelo de Ostwald de Waele (ley de la potencia) por presentar valores más ajustados (mayor  $R^2$ ), además por la desviación estándar del índice de consistencia que es menor al obtenido por el modelo de Herschel-Bulkley.

**Cuadro 7.** Parámetros reológicos ajustados al modelo de Ostwald de Waele (ley de la potencia) a diferentes concentraciones y temperaturas.

°Brix	°C	$K$ (Pa. s <sup>n</sup> )	$n$ (adimensional)	$X^2$	$R$	$R^2$ (%)
12,5	30	0,90 ± 0,05	0,34 ± 0,01	0,003	0,999	99,875
	40	0,80 ± 0,08	0,34 ± 0,02	0,007	0,998	99,556
	50	0,68 ± 0,10	0,35 ± 0,03	0,005	0,998	99,636
15,0	30	1,10 ± 0,25	0,37 ± 0,04	0,009	0,999	99,799
	40	0,88 ± 0,09	0,38 ± 0,02	0,011	0,998	99,689
	50	0,72 ± 0,06	0,38 ± 0,01	0,012	0,997	99,489
20,0	30	4,76 ± 0,40	0,25 ± 0,02	0,519	0,985	96,990
	40	4,14 ± 0,13	0,26 ± 0,01	0,365	0,986	97,279
	50	3,65 ± 0,21	0,26 ± 0,01	0,543	0,977	95,355
25,0	30	11,46 ± 0,54	0,19 ± 0,01	2,481	0,965	93,097
	40	9,25 ± 0,41	0,21 ± 0,01	2,051	0,966	93,402
	50	6,78 ± 0,45	0,24 ± 0,01	0,462	0,992	98,361

K, Índice de consistencia; n, Índice de flujo,  $X^2$ , Chi Cuadrado.

**Cuadro 8.** Parámetros reológicos ajustados al modelo de Herschel-Bulkley a diferentes concentraciones y temperaturas.

°Brix	°C	$\tau_0$ (Pa)	$K$ (Pa. s <sup>n</sup> )	$n$ (adimensional)	$X^2$	$R$	$R^2$ (%)
12,5	30	0,28 ± 0,33	0,75 ± 0,20	0,37 ± 0,04	0,001	0,999	99,92
	40	0,14 ± 0,12	0,73 ± 0,12	0,35 ± 0,03	0,001	0,998	99,57
	50	-0,01 ± 0,18	0,69 ± 0,21	0,34 ± 0,05	0,005	0,998	99,64
15,0	30	0,59 ± 0,13	0,80 ± 0,16	0,41 ± 0,04	0,004	0,999	99,91
	40	0,55 ± 0,23	0,62 ± 0,18	0,43 ± 0,04	0,007	0,999	99,82
	50	0,30 ± 0,16	0,58 ± 0,05	0,41 ± 0,01	0,011	0,998	99,54
20,0	30	-7,30 ± 1,63	10,75 ± 2,02	0,17 ± 0,03	0,460	0,987	97,45
	40	-9,23 ± 4,28	11,93 ± 4,09	0,15 ± 0,03	0,277	0,990	98,02
	50	-6,72 ± 0,62	9,12 ± 0,71	0,16 ± 0,01	0,488	0,979	96,01
25,0	30	-42,76 ± 1,89	51,22 ± 1,87	0,07 ± 0,01	1,624	0,978	95,66
	40	-51,67 ± 1,09	57,57 ± 1,20	0,06 ± 0,01	1,201	0,981	96,30
	50	-8,58 ± 7,94	14,01 ± 6,98	0,17 ± 0,05	0,389	0,993	98,68

K, Índice de consistencia; n, Índice de flujo,  $X^2$ , Chi Cuadrado;  $\tau_0$ , Esfuerzo umbral.

**Cuadro 9.** Parámetros reológicos ajustados al modelo de Casson a diferentes concentraciones y temperaturas.

°Brix	°C	<i>Esfuerzo umbral</i> $K_{oc} (Pa)^{0.5}$	<i>Viscosidad plástica de Casson</i> $K_c (Pa.s)^{0.5}$	$X^2$	$R$	$R^2$ (%)
12,5	30	1,70 ± 0,06	0,07 ± 0,01	0,058	0,986	97,195
	40	1,51 ± 0,10	0,06 ± 0,01	0,052	0,984	96,743
	50	1,29 ± 0,11	0,06 ± 0,01	0,044	0,983	96,560
15,0	30	2,30 ± 0,18	0,09 ± 0,01	0,095	0,990	97,915
	40	1,81 ± 0,13	0,09 ± 0,01	0,066	0,991	98,157
	50	1,47 ± 0,09	0,08 ± 0,01	0,057	0,988	97,594
20,0	30	7,75 ± 0,24	0,10 ± 0,01	1,724	0,949	90,001
	40	6,71 ± 0,12	0,10 ± 0,01	1,434	0,945	89,311
	50	5,97 ± 0,21	0,09 ± 0,01	1,432	0,937	87,743
25,0	30	16,50 ± 0,51	0,10 ± 0,01	7,194	0,894	79,980
	40	13,78 ± 0,44	0,10 ± 0,01	6,303	0,893	79,719
	50	10,74 ± 0,47	0,11 ± 0,01	2,655	0,952	90,577

$X^2$ , Chi Cuadrado.

En el modelo de Ostwald de Waele (Cuadro 7) se observa que a una dada concentración (°Brix), el aumento de la temperatura origina una disminución del índice de consistencia ( $K$ ) y por el contrario, éste se eleva con el aumento de la concentración del jugo de uva y a la misma temperatura. Helena (1999) menciona que en pulpa y jugo de frutas, un aumento en la temperatura ocasiona que la viscosidad de la fase líquida disminuya, por el aumento del movimiento de las partículas en suspensión, consecuentemente disminuye la viscosidad de la matriz alimenticia (pulpa o jugo).

El índice de flujo ( $n$ ) para las concentraciones de 12,5, 15,0 y 20,0°Brix del jugo de uva aumentan ligeramente con el aumento de la temperatura, lo que no acontece a 25 °Brix, donde el aumento es mínimo. Estos valores se encuentran entre 0,19 a 0,38, lo que permite afirmar que el jugo de uva Isabella se comporta como un fluido pseudoplástico, al igual que para otras frutas estudiadas con resultados similares como para la pulpa de guayaba con índice de flujo entre 0,14 a 0,28 (ANDRADE *et al* 2009), jugos de guayaba, mango, maracuyá y papaya (COSER, 1997), pulpa de mango (HELENA, 1999), pulpa de pera con índice de flujo entre 0,247 a 0,504 (MUÑOS *et al.*,2006), pulpa de piña (HELENA, 1999), pulpa integral de zapote homogenizada y pasteurizada (MATOS *et al.*,2010).



### **5.6.3 Efecto de la temperatura y concentración sobre el índice de consistencia ( $K$ )**

#### **5.6.3.1 Efecto de la temperatura**

A través de la ecuación de Arrhenius se analiza el efecto de la temperatura con relación al índice de consistencia ( $K$ ) de Ostwald de Waele para la energía de activación al flujo ( $E_a$ ) y la constante de consistencia ( $K_0$ ), a distintas concentraciones del jugo de uva (Cuadro 10). Se observa que la energía de activación a 12,5 °Brix es 11,38 KJ/mol y va en aumento conforme se obtiene una mayor concentración del jugo de uva, existiendo influencia de la temperatura en el cambio del índice de consistencia ( $K$ ), lo que no sucede con la concentración a 20 °Brix, donde la temperatura ejerce una mínima influencia equivalente a casi la mitad de la influenciada a 25 °Brix.

Los valores de energía de activación son similares a los reportados para otros tipo de frutas estudiadas como el de melocotón cremogenado 12,88 KJ/ mol a 29 °Brix y para la tuna blanca con 9,48 KJ/ mol a 27 °Brix y 12,86 KJ/mol a 20 °Brix (MATOS, 2010). En conclusión, se recomendaría trabajar a la concentración de 25 °Brix debido a la mayor energía de activación que facilita cualquier tipo de transmisión de calor en evaporadores y equipos de calentamiento.

#### **5.6.3.2 Efecto de la concentración**

El efecto de la concentración sobre el índice de consistencia fue evaluado por los modelos matemáticos Potencial  $K = K_1 \cdot C^{A_1}$  y Exponencial  $K = K_2 \cdot \exp^{(A_2 \cdot C)}$ ; y los parámetros se muestran en los Cuadros 11 y 12 respectivamente, en la que se observa que el coeficiente de determinación para ambos modelos es superior a 90% y, el modelo potencial es el que define mejor el comportamiento reológico del jugo de uva a diferentes concentraciones. Los resultados son similares a los obtenidos en otros estudios como por Muños *et al.*, (2006) y Cascardo (2000) quienes evaluaron la pulpa de pera y jugo de acerola, respectivamente, concluyendo que el índice de consistencia y la concentración están relacionados por una función de tipo potencial.

**Cuadro 10.** Parámetros de la ecuación de Arrhenius:  $K = K_0 \cdot \exp^{(E_a/R.T)}$  a diferentes concentraciones.

°Brix	Temperatura		$T^{-1}$	$K$	$\ln(K)$	$E_a$	$K_0$	$R^2$
	°C	°K	1/°K	Pa.s <sup>n</sup>		KJ/mol	Pa.s <sup>n</sup>	(%)
12,5	30	303	0,00330	0,90	-0,11	11,38	0,0099	98,78
	40	313	0,00319	0,80	-0,22			
	50	323	0,00310	0,68	-0,39			
15	30	303	0,00330	1,10	0,10	17,25	0,0012	99,98
	40	313	0,00319	0,88	-0,13			
	50	323	0,00310	0,72	-0,33			
20	30	303	0,00330	4,76	1,56	10,81	0,0652	99,98
	40	313	0,00319	4,14	1,42			
	50	323	0,00310	3,65	1,29			
25	30	303	0,00330	11,46	2,44	21,31	0,0025	98,46
	40	313	0,00319	9,25	2,22			
	50	323	0,00310	6,78	1,91			

**Cuadro 11.** Parámetros resultantes del ajuste al modelo potencial:  $K = K_1 \cdot C^{A_1}$  para el jugo de uva Isabella.

$T\text{ }^{\circ}\text{C}$	$K_1$	$A_1$	$X^2$	$R$	$R^2\%$
30	$2,46 \times 10^{-5}$	4,0557	0,2328	0,99840	99,681
40	$3,90 \times 10^{-5}$	3,8491	0,2823	0,99701	99,404
50	$1,40 \times 10^{-4}$	3,3569	0,4454	0,99115	98,239

**Cuadro 12.** Parámetros resultantes del ajuste al modelo exponencial:  $K = K_2 \cdot \exp^{(A_2 \cdot C)}$  para el jugo de uva Isabella.

$T\text{ }^{\circ}\text{C}$	$K_2$	$A_2$	$X^2$	$R$	$R^2\%$
30	0,0876	0,1952	0,4659	0,99680	99,362
40	0,0882	0,1864	0,5454	0,99422	98,848
50	0,1113	0,1651	0,7886	0,98428	96,881

### 5.6.3.3 Efecto combinado de la temperatura y concentración

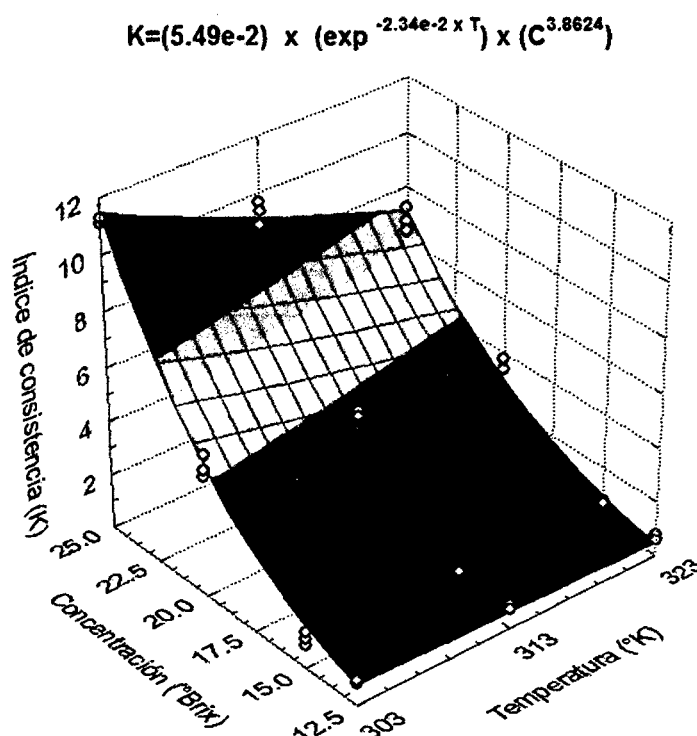
Existen diversos tipos de modelos matemáticos que relacionan las variables temperatura y concentración, para este estudio los valores de índice de consistencia ( $K$ ) y de índice de flujo ( $n$ ) fueron ajustados a las Ecuaciones 10, 11, 12, y 13, usando el software STATISTICA VERSION 5,0 (Cuadro 13). Los índices resultaron satisfactorios en tres ecuaciones de las cuatro utilizadas, destacando que la Ecuación 11,  $y = a_1 \cdot \exp^{a_2 \cdot T} \cdot C^{a_3}$  produce el más alto coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y más bajo valor chi cuadrado ( $X^2$ ).

En la Figura 22 se aprecia que la influencia que posee la temperatura a bajas concentraciones sobre el índice de consistencia ( $K$ ) es mínima, por el contrario a altas concentraciones la temperatura influye positivamente en el índice de consistencia, llegando a concluir que la concentración es la variable responsable del aumento del índice de consistencia ( $K$ ).

En relación al índice de flujo ( $n$ ), el Cuadro 14 muestra el valor de los parámetros en función del efecto combinado de la temperatura y concentración usando las mismas ecuaciones propuestas. Ningunas de las cuatro representan un buen ajuste del efecto y estos datos experimentales generan coeficientes de determinación menor a 75 %, debido a que no existe una tendencia definida del índice de flujo ( $n$ ) en lo referente al aumento o disminución del mismo.

**Cuadro 13.** Parámetros para el índice de consistencia ( $K$ ) obtenidos en función del efecto combinado de la temperatura y concentración.

Ecuaciones $y = K$	Parámetros obtenidos para las ecuaciones de ( $K$ )			$R$	$R^2 \%$	$X^2$
	$a_1$	$a_2$	$a_3$			
$y = \exp^{a_1 \cdot T} \cdot C^{a_2}$	$-2,99 \times 10^{-2}$	3,5841	--	0,990	98,010	9,040
$y = a_1 \cdot \exp^{a_2 \cdot T} \cdot C^{a_3}$	$5,49 \times 10^{-2}$	$-2,34 \times 10^{-2}$	3,8624	0,994	98,767	5,599
$y = \exp^{a_1/T} \cdot C^{a_2}$	-1909,6850	2,5380	--	0,832	69,293	139,486
$y = a_1 \cdot \exp^{a_2/T} \cdot C^{a_3}$	$2,513 \times 10^{-8}$	2275,0	3,862	0,993	98,742	5,716



**Figura 22.** Efecto combinado de la temperatura y concentración sobre el índice de consistencia ( $K$ ).

**Cuadro 14.** Parámetros para el índice de flujo ( $n$ ) obtenidos en función del efecto combinado de la temperatura y concentración.

Ecuaciones $y = n$	Parámetros ( $n$ )			$R$	$R^2 \%$	$X^2$
	$a_1$	$a_2$	$a_3$			
$y = \exp^{a_1.T}.C^{a_2}$	$2,644 \times 10^{-3}$	-0,72008	-	0,849	72,193	0,046
$y = a_1.\exp^{a_2.T}.C^{a_3}$	0,9820	$2,693 \times 10^{-3}$	-0,719	0,850	72,194	0,046
$y = \exp^{a_1/T}.C^{a_2}$	221,9226	-0,6785	-	0,829	68,729	0,052
$y = a_1.\exp^{a_1/T}.C^{a_3}$	5,2808	-262,428	-0,719	0,849	72,182	0,046

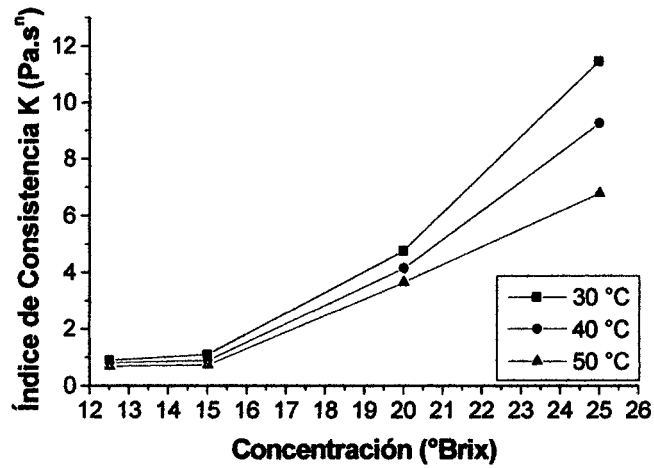
El análisis de varianza para el índice de consistencia ( $K$ ) del modelo de Ostwald de Waele resulta con influencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) de la concentración y la temperatura, y de las interacciones. En la Figura 16 se observa que el índice de consistencia aumenta con la concentración y, disminuye con el incremento de la temperatura. El análisis de varianza para el índice de flujo ( $n$ ) (Figura 17) indica que la

concentración influye negativamente ( $p \leq 0.05$ ) sobre el índice de flujo ( $n$ ) y que, la temperatura no tiene ningún efecto significativo. Se aprecia además, que la interacción entre ambos factores no interfieren significativamente sobre el índice de flujo ( $n$ ). Se observa que el índice de flujo disminuye a partir de los 15 °Brix, lo que confirma que el fluido se hace más pseudoplástico.

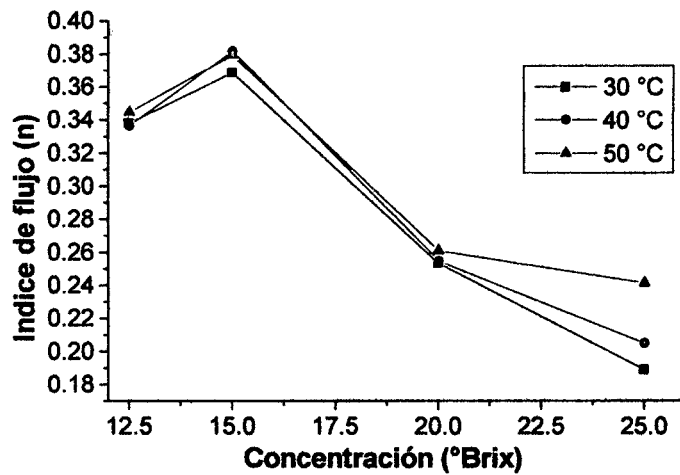
### **5.7 Análisis de varianza para el índice de consistencia ( $K$ ) e índice de flujo ( $n$ )**

El ANVA (Anexo C) para el índice de consistencia ( $K$ ) con datos del modelo de Ostwald de Waele muestra diferencia significativa tanto para la concentración como para la temperatura y sus interacciones; como una ayuda para interpretar los resultados de este análisis, se grafica la respuesta promedio del índice de consistencia ( $K$ ) para cada combinación de los factores en estudio (Figura 23) donde se observa que las rectas no son paralelas indica que la interacción temperatura - concentración es significativa. En general se obtiene índices de consistencia ( $K$ ) más elevados a concentraciones más altas independientemente de la temperatura, al cambiar o elevar de temperatura esta hace que el índice de consistencia disminuya. Entretanto, aplicando la prueba de Tuckey (Anexo C1) para el índice de consistencia ( $K$ ) no existe diferencia entre las medias de los tratamientos a las concentraciones de 12,5 y 15,0°Brix para la relación temperatura-concentración y, encontrando diferencia para concentraciones mayores (20,0 y 25,0°Brix) a las temperaturas de estudio (30, 40 y 50°C), que presentan a su vez mayores índices de consistencia.

En relación al índice de flujo ( $n$ ) (ANVA en Anexo C2 y Figura 24) se observa que la concentración del jugo de uva influye significativamente en el índice de flujo ( $n$ ) de manera que reduce el índice con el aumento de la concentración (el fluido se hace más pseudoplástico), independientemente de la temperatura hasta los 20°Brix. La interacción de la temperatura y la concentración no interfiere significativamente en el índice de flujo.



**Figura 22.** Respuesta promedio del índice de consistencia ( $K$ ) para la combinación temperatura – concentración.



**Figura 23.** Respuesta promedio del índice de flujo ( $n$ ) para la combinación temperatura – concentración.

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES**

La uva negra Isabella del distrito de San Antonio de Cumbaza presenta características físico químicas similares a los producidos en otras regiones distintas del Perú, resaltando los contenidos de Sólidos Solubles 12,5°Brix y Acidez Titulable 1,13 mL de ácido tartárico/100 mL de jugo. Así mismo, presenta un alto contenido de Fenoles Totales.

El tratamiento térmico arriba de los 40°C independientemente del tiempo, degrada rápidamente las Antocianinas Totales y consecuentemente los Fenoles Totales presentes en la uva, esto hace necesario que para conservar los fenólicos y facilitar la evaporación del agua, es inevitable el uso de sistema de vacío para la concentración del jugo.

El comportamiento reológico del jugo de uva en las condiciones evaluadas de concentración y temperatura es pseudoplástico y, que se describe mediante el modelo de Ostwald de Waele. Esto hace, que la viscosidad aparente disminuye al aumentar la velocidad de deformación.

El efecto de la temperatura sobre el índice de consistencia del jugo de uva puede describirse por la ecuación de tipo Arrhenius con valores de energía de activación de 11,38 KJ/mol a 21,31 KJ/mol para las concentraciones de 12,5 °Brix hasta 25,0 °Brix y, el efecto de la concentración con el índice de consistencia del jugo de uva es descrito satisfactoriamente por el modelo de tipo potencial, existiendo influencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) de la concentración y la temperatura, y de la interacción sobre el índice de consistencia.

### **6.2 RECOMENDACIONES**

- ✓ Estandarizar el momento de la cosecha con el acompañamiento de la evolución de los indicadores del índice de madurez, sólidos solubles e índice de acidez.
- ✓ Estudiar la composición en Fenoles y Antocianinas incluyendo el Resveratrol utilizando Cromatografía Líquida de Alta Precisión, en el jugo de uva integral

que aprovecha las sustancias bioactivas presentes en la cáscara, pulpa y semilla.

- ✓ Estudiar la capacidad antioxidante de los fenoles presentes en la uva Isabella por medio de la técnica de secuestro de radicales libre, ABTS y DPPH.
- ✓ Evaluar la presencia de las sustancias bioactivas en productos elaborados a base de la uva Isabella como en bebidas (vinos y cocteles) y productos macerados y evaluar la actividad antioxidante.
- ✓ Diseñar y construir un evaporador al vacío que permita evaluar los parámetros de vacío, temperatura y tiempo en relación a la presencia de antocianinas.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABE, L.T.; Da Mora, R.V.; Lajolo, F.M.; Genovese, M.I. (2007) Compostos fenólicos e capacidade antioxidante de cultivares de uvas *Vitis labrusca* L. e *Vitis vinifera* L. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 27(2): 394-400.
2. ADAMS, J. B. (1973). Thermal degradation of anthocyanins with particular reference to the 3-glycosides of cyanidine. I. In acidified aqueous solution at 100°C. *Journal of Science and Food Agriculture*, v. 24, p. 747-750.
3. AHERNE, S.A.; O'Brien, N.M. (2002). Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. *Nutrition*. New York: v. 18,n. 1, p. 75-81.
4. ALVARADO, J. D.; Viteri, N. P. (1989). Efecto de la temperatura sobre la degradación aeróbica de vitamina C en jugos de frutas cítricas. *Archivo Latinoamericano de Nutrición*. v. 29 N° 4 pp. 601-612.
5. ALVARADO, J.; Romero, C. (1989). Physical properties of fruits I – II Density and viscosity of juices as functions of soluble solids content and temperature. *Latin American applied research*, 19:15-21.
6. AMSTALDEN, L. C. (1992). Estudo Sobre a Ação de Pectinesterase em Suco de Laranja. Tese para obtenção de mestre em Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.
7. ANDERSEN, Ø. M. & Jordheim, M. (2010). Chemistry of Flavonoid-Based Colors in Plants. University of Bergen, Bergen, Norway.
8. ANDRADE, R.; Ortega, F.; Montes, E.; Torres, R.; Pérez, O.; Castro, M.; Gutiérrez, L. (2009). Caracterización fisicoquímica y reológica de la pulpa de guayaba (*Psidium Guajava* L) variedades híbrido de Klom Sali, Puerto Rico, D14 y Red. Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 16 (1): 13 -18.
9. AOAC, (1995). Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of the Association of Official analytical Chemists. 16 ed. Washington.
10. ARCE, S. T. (2008). Constituintes Polifenólicos e Propriedades Antioxidantes da Polpa do Fruto da Palmeira Juçara (*Euterpe Edulis*). Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Brasil.

11. ARÉVALO-PINEDO R. (2007). Estudo da estabilização da polpa de Camu camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) congelada visando a manutenção de ácido ascórbico e de antocianinas. Tese Doutorado em Engenharia Química. UNICAMP, São Paulo, Brasil.
12. BARBOSA-CANOVAS, G. V.; Veja-Mercado, H. (1996). *Dehydration of food*, Chapman & Hall, EUA, 330 p.
13. BOBBIO, F. O. & Bobbio, P. A. (1992). Introdução à química dos alimentos. 2. ed., São Paulo: Varela.
14. BROOKFIELD ENGINEERING LABS (2008). More Solutions to Sticky Problems, Middlebore, Massachusetts. USA.
15. CABRITA, M. J.; Ricardo-Da-Silva, J.; Laureano, O. (2003) Os compostos polifenólicos das uvas e dos vinhos. In: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE VITIVINICULTURA. Anais...Ensenada, México.
16. CASCARDO, Da S.F. (2000). Reologia do suco de acerola: efeito da concentracao e da temperatura. Tese (Mestre em Engenharia de Alimentos). Campinas, Brasil. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Faculdade de Engenharia de Alimentos. 130 p.
17. CASTAÑEDA (1992). Viticultura y Vinicultura. Oportunidades Comerciales, Boletín de la Cámara de Comercio Industrias y Turismo de San Martin – Tarapoto. Año 1, N° 5, Setiembre, Tarapoto – Perú.
18. CAYETANO, A. M. C.; Stefani, A.; Ferreyra, M. M.; Schvab, M. Del C. (2013). Comportamiento reológico del “vino de naranja”: influencia de la temperatura y la composición. ReCiTeIA; v.13 n.2. Cali – Valle – Colombia.
19. CONDE, C., Silva, P., Fontes, N., Dias, A.C.P., Tavares, R.M., Sousa, M.J. (2007) Biochemical Changes throughout Grape Berry Development and Fruit and Wine Quality. *Food* 1: 1-22.
20. COSER, A.R.A. (1997). Reologia de sucos de frutas tropicais: manga, maracujá, mamão e goiaba. Tese (Mestre em Engenharia de Alimentos). Campinas, Brasil. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Faculdade de Engenharia de Alimentos. 191 p.
21. COUNET, C.; Callemien, D.; Collin, S. (2006). Chocolate and cocoa: New sources of *trans*-resveratrol and *trans*-piceid. *Food Chem.*, v. 98, p. 649-657.

22. CRANDALL, P.G.; Beilock, R.P. (1985). The cost own Benefits of transportation 72 ° Brix orange concentrated. *Ploc. Fla. State Hort. Soc.*, v. 98, pp. 200-206.
23. DEGÁSPARI, C. H., Waszczynskyj, Nina. (2004). Propriedades Antioxidantes de compostos Fenólicos. *Visão Acadêmica*, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 33-40.
24. DELMAS, D.; Jannin, B.; Latruffe, N. (2005). Resveratrol: Preventing properties against vascular alterations and ageing. *Mol. Nutr. Food Res.*, v. 49, p. 377-395.
25. FALCÃO, A.P.; Chaves, E.S.; Kuskoski, E.M.; Fett, R.; Falcão, L.D.; Bordignon-Luiz, M.T. (2007). Índice de polifenóis, antocianinas totais e atividade antioxidante de um sistema modelo de geléia de uvas. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 27(3): 637-642.
26. FRANCIS, F. J. (1982). Analysis of anthocyanins. In: *Anthocyanins of food colors*. P. MARKAKIS (Ed). Academic Pres Inc. p. 182-205.
27. GABAS, A.L.; Telis-Romero, J.; Menegalli, F.C. (2003). Cinética de Degradação do Ácido Ascórbico em Ameixas Liofilizadas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.23, pp. 66-70.
28. GIUSTI, M. M.; Wrolstad, R. E. (2001). Anthocyanins. Characterization and measurement with UV-Visible spectroscopy. In: *Current Protocols in Food Anal. Chem.*, Wrolstad, R. E., E.; John Wiley & Sons: New York.
29. GROSS, J. (1987). pigments in fruits. Academic press, London. pp 59-85.
30. GUILHERME, B.I. (1995). Suco de laranja concentrado-Comportamento reológico a baixas temperaturas. Tese (Mestre em Engenharia de Alimentos). Campinas, Brasil. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, 91p.
31. HELENA, P. D. (1999). Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi. Tesis (Maestría en ingeniería de alimentos). Campinas, Brasil. Universidad estadual de Campinas, Facultad de ingeniería de alimentos, 115p.
32. INSTITUTO NACIONAL DE SALUD (PERÚ), (2009). Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. 8° Ed. Lima, 64 p.
33. JK da Silva; Betim, C. C. B.; Correa, L. C.; Batista, A. G.; Furlan, C. P. B.; Biasoto, A. C. T.; Pereira, G. E.; Costa, C. A.; Maróstica, J. R. (2016). Bioactive

- compounds of juices from two Brazilian grape cultivars. *J Sci Food Agric* 2016; **96**: 1990–1996.
34. KIRCA, A.; Özkan, M.; Cemeroglu, B. (2006). Stability of black carrot anthocyanins in various fruit juices and nectars. *Food Chemistry*, v. 97, p. 598-605.
  35. LANGCAKE, P.; Pryce, R. J. (1976). The production of resveratrol by *Vitis vinifera* and other members of the Vitaceae as a response to infection or injury. *Physiol. Plant Pathol.*, v. 9, p. 77-86.
  36. LICHTENTHÄLER, R. (2004); Optimisation of the Total Oxidant Scavenging Capacity Assay and Application on *Euterpe Oleracea* Mart. (Açaí) Pulps and Seeds. Thesis – Institut für Lebensmittelwissenschaft und Lebensmittelchemie – Universität Bonn.
  37. MALACRIDA, C. R.; Motta, S. (2005). Compostos fenólicos totais e antocianinas em suco de uva. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 25, p. 659-664.
  38. MARKAKIS, P. (1982). Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press, Inc., 1982, 263 p.
  39. MATOS, CH.A.; Aguilar, A.D. (2010). Influencia de la temperatura y concentración sobre el comportamiento reológico de la pulpa de tuna (*Opuntia ficus indica*). *Revista de investigación en ciencia y tecnología de alimentos*. 01 (01): 58-65.
  40. MAZILE, V.B.J.R. (1997). Estudo reológico do suco da manga - efeito dos sólidos insolúveis. Tese (Mestre em Engenharia de Alimentos). Campinas, Brasil. Universidade estadual de Campinas – UNICAMP. Faculdade de Engenharia de Alimentos. 98 p.
  41. MELO, R. (2007). As antocianinas da batata doce (*Ipomoea batatas* (L) Lam), e as suas propriedades antioxidantes e antimutagênicas, Documento de informação, acesso, 29/05/2007.
  42. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO - PERÚ. (2015). Sistema Integrado de Estadística Agraria. Estadística mensual - Enero.
  43. MÜLLER, H. G. (1973). Introducción a la reología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 174 p.

44. MUÑOZ, P. E.; Rubio, L.A.; Chernikoff, R.; Possa, H. N.; Morant, M.A. (2006). Modelo predictivo del comportamiento reológico de pulpas de fruta (Pera). Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo, San Martín 352, San Rafael (Mza.), Argentina.
45. MUÑOZ-ESPADA, A.C.; Wood, K.V.; Bordelon, B.; Watkins, B.A. (2004) Anthocyanin quantification and radical scavenging capacity of Concord, Norton, and Marechal Foch Grapes and wines. *J. Agric. Food Chem.*, v. 52, p. 6779-6786, 2004.
46. NTP (2009). Norma Técnica Peruana 203.110.2009: Jugos, néctares y bebidas de fruta. Requisitos Perú. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI.
47. ONOFRE, P. M. (1996) Redução da Viscosidade em Suco de Laranja Concentrado com Tratamento Enzimático. Tese de Mestre em Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.
48. PEREIRA, G. E.; Lima, L. C. de O.; Regina, M. de A.; Rosier, J-P. Ferraz, V. Mourão, J. M. (2008). Avaliação do potencial de cinco cultivares de videiras americanas para sucos de uva no sul de Minas Gerais. *Ciê. Agrotec.*, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1531 – 1537.
49. PIMENTEL, S. O. R. (1997). Determinação de propriedades físicas e de transporte de suco de acerola. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos). Campinas, Brasil. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Faculdade de Engenharia de Alimentos, 149 p.
50. RASSIS, D.; Saguy, S. I. (1995). Kinetic of Aseptic Concentrated Orange juice Quality Changes During Commercial Processing and Storage. *International Journal of Food Science and Technology*. v. 30, pp 191-198.
51. ROCKENBACH, I. I; Silva, G. L.; Rodrigues, E.; Gonzaga, L. V.; Fett, R. (2007). Atividade antioxidante de extratos de bagaço de uva das variedades Regente e Pinot Nois (*Vitis vinifera*). *Rev Inst Adolfo Lutz*, 66(2): 158-163.
52. ROJAS, A. (2008). <http://nuevasamazonas.blogspot.com.br/>
53. ROUSE, A.H.E; Albrigo, L. G. (1974). Viscometric Measurements and pactic Acontent of Frozen Concentrated Orange Juice for Citrus Futures. *Proc. Fla. Srte Hortic. Soc.*, v. 87, 293-296.

54. SANTOS, P.H. S. (2008) Estudo da cinética de degradação do ácido ascórbico na secagem de abacaxi em atmosfera modificada. Campinas, SP: [s.n.],
55. SARAVACOS, G. D. (1970). Effect of Temperature on Viscosity of Fruit Juices and Purees. *Journal of food Science*. New York, v. 35, pp. 122-125
56. SARNI-MANCHADO, P. S.; fulcrand, H.; souquet, J.M.; cheynier, V.; moutounet, M. (1996) Stability and color of unreported wine anthocyanin-derived pigments. *Journal of Food Science*, v. 61, n. 5, p. 938-941.
57. SHARMA, S. K.; Mulvaney, S. J.; Rizvi, S. S. H. (2003). *Ingeniería de Alimentos: operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. Primera Edición. Ed. Limusa – México.
58. SILVA, P. M. O.C. (2001). *Processamento alternativo para produção de suco de laranja concentrado com concentração superior ao padrão*. Tese de Mestre em Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.
59. SOUSA, C. M.; Rocha, H.; Magela, G.; Cruz, M.; Da Costa C. L. S.; Sérvulo, S.; Cavalcante, L. C. D.; Barros, E. D. S.; Breitner, P.; Brandão, M. S.; Chaves, M. H.(2007); Fenóis Totais e Atividade Antioxidante de cinco plantas medicinais. *Quim. Nova*, vol. 30, Nº 2, pp.351-352.
60. TERCI, D. B. L. (2004) *Aplicações analíticas e didáticas de antocianinas extraídas de frutas*. Tese – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química. Campinas, SP.
61. VITALI, A. A. (1983) *Comportamento Reológico de Suco de Laranja Concentrado Congelado á Baixas Temperaturas*. Tese de Doutorado em Engenharia Química, São Paulo, USP, Escola Politécnica.
62. WROLSTAD, R. E., Wightman, J. D., Durst, R. W. (1994). Glycosidase activity of enzyme preparations used in fruit juice processing. *Food Technology*, 48(90), 92-94.
63. WROLSTAD, R. E.; Durst, R. W.; Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology* 16, 423-428.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO A. ANÁLISIS DE VARIANCA PARA EL ÍNDICE DE CONSISTENCIA (K) CON DATOS DEL MODELO DE OSTWALD DE WAELE.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo	Ft	Significancia
Concentración	3	417,25240354	139,0841345	1708,32085	3,01	*
Temperatura	2	15,30300027	7,651500136	93,9806487	3,40	*
Interacción	6	19,73727221	3,289545369	40,4043132	2,51	*
Error	24	1,953976758	0,081415698			
TOTAL	35	454,24665278				

### ANEXO A1. PRUEBA DE TUCKEY PARA EL ÍNDICE DE CONSISTENCIA (K)

#### 1. Orden descendente de los promedios del índice de consistencia

TRATAMIENTO	$\bar{x}$ Índice de consistencia
25,0 °Bx - 30 °C =	11,4623
25,0 °Bx - 40 °C =	9,24960
25,0 °Bx - 50 °C =	6,78160
20,0 °Bx - 30 °C =	4,75860
20,0 °Bx - 40 °C =	4,14310
20,0 °Bx - 50 °C =	3,64810
15,0 °Bx - 30 °C =	1,09940
12,5 °Bx - 30 °C =	0,89780
15,0 °Bx - 40 °C =	0,88180
12,5 °Bx - 40 °C =	0,80430
15,0 °Bx - 50 °C =	0,72350
12,5 °Bx - 50 °C =	0,67710

#### 2. De la tabla Tuckey

$$T_{0.05} = q_{0.05}(5, 24) \sqrt{\frac{MS_E}{n}}$$

$$T_{0.05} = 4,17 \sqrt{\frac{0,081415698}{6}}$$

$$T_{0.05} = 0,4858$$

### 3. Comparaciones de los promedios del índice de consistencia

1° Mayor	Diferencia	>/<	ALS(t)	Significancia
11,4623 - 0,6771 =	10,7852	>	0,4858	*
11,4623 - 0,7235 =	10,7388	>	0,4858	*
11,4623 - 0,8043 =	10,6580	>	0,4858	*
11,4623 - 0,8818 =	10,5806	>	0,4858	*
11,4623 - 0,8978 =	10,5645	>	0,4858	*
11,4623 - 1,0994 =	10,3629	>	0,4858	*
11,4623 - 3,6481 =	7,8142	>	0,4858	*
11,4623 - 4,1431 =	7,3192	>	0,4858	*
11,4623 - 4,7586 =	6,7037	>	0,4858	*
11,4623 - 6,7816 =	4,6807	>	0,4858	*
11,4623 - 9,2496 =	2,2127	>	0,4858	*

2° Mayor	Diferencia	>/<	ALS(t)	Significancia
9,2496 - 0,6771 =	8,5725	>	0,4858	*
9,2496 - 0,7235 =	8,5261	>	0,4858	*
9,2496 - 0,8043 =	8,4452	>	0,4858	*
9,2496 - 0,8818 =	8,3678	>	0,4858	*
9,2496 - 0,8978 =	8,3518	>	0,4858	*
9,2496 - 1,0994 =	8,1502	>	0,4858	*
9,2496 - 3,6481 =	5,6015	>	0,4858	*
9,2496 - 4,1431 =	5,1065	>	0,4858	*
9,2496 - 4,7586 =	4,4910	>	0,4858	*
9,2496 - 6,7816 =	2,4680	>	0,4858	*

3° Mayor	Diferencia	>/<	ALS(t)	Significancia
6,7816 - 0,6771 =	6,1045	>	0,4858	*
6,7816 - 0,7235 =	6,0582	>	0,4858	*
6,7816 - 0,8043 =	5,9773	>	0,4858	*
6,7816 - 0,8818 =	5,8999	>	0,4858	*
6,7816 - 0,8978 =	5,8838	>	0,4858	*
6,7816 - 1,0994 =	5,6823	>	0,4858	*
6,7816 - 3,6481 =	3,1335	>	0,4858	*
6,7816 - 4,1431 =	2,6385	>	0,4858	*
6,7816 - 4,7586 =	2,0230	>	0,4858	*



4° Mayor	Diferencia	>/<	ALS(t)	Significancia
4,7586 - 0,6771 =	4,0815	>	0,4858	*
4,7586 - 0,7235 =	4,0352	>	0,4858	*
4,7586 - 0,8043 =	3,9543	>	0,4858	*
4,7586 - 0,8818 =	3,8769	>	0,4858	*
4,7586 - 0,8978 =	3,8609	>	0,4858	*
4,7586 - 1,0994 =	3,6593	>	0,4858	*
4,7586 - 3,6481 =	1,1105	>	0,4858	*
4,7586 - 4,1431 =	0,6155	>	0,4858	*

5° Mayor	Diferencia	>/<	ALS(t)	Significancia
4,1431 - 0,6771 =	3,4660	>	0,4858	*
4,1431 - 0,7235 =	3,4196	>	0,4858	*
4,1431 - 0,8043 =	3,3388	>	0,4858	*
4,1431 - 0,8818 =	3,2613	>	0,4858	*
4,1431 - 0,8978 =	3,2453	>	0,4858	*
4,1431 - 1,0994 =	3,0437	>	0,4858	*
4,1431 - 3,6481 =	0,4950	>	0,4858	*

6° Mayor	Diferencia	>/<	ALS(t)	Significancia
3,6481 - 0,6771 =	2,9710	>	0,4858	*
3,6481 - 0,7235 =	2,9246	>	0,4858	*
3,6481 - 0,8043 =	2,8438	>	0,4858	*
3,6481 - 0,8818 =	2,7663	>	0,4858	*
3,6481 - 0,8978 =	2,7503	>	0,4858	*
3,6481 - 1,0994 =	2,5487	>	0,4858	*

7° Mayor	Diferencia	>/<	ALS(t)	Significancia
1,0994 - 0,6771 =	0,4223	<	0,4858	NS
1,0994 - 0,7235 =	0,3759	<	0,4858	NS
1,0994 - 0,8043 =	0,2950	<	0,4858	NS
1,0994 - 0,8818 =	0,2176	<	0,4858	NS
1,0994 - 0,8978 =	0,2016	<	0,4858	NS

8° Mayor	Diferencia	>/<	ALS(t)	Significancia
0,8978 - 0,6771 =	0,2207	<	0,4858	NS
0,8978 - 0,7235 =	0,1743	<	0,4858	NS
0,8978 - 0,8043 =	0,0934	<	0,4858	NS
0,8978 - 0,8818 =	0,0160	<	0,4858	NS

9° Mayor	Diferencia	>/<	ALS(t)	Significancia
0,8818 - 0,6771 =	0,2047	<	0,4858	NS
0,8818 - 0,7235 =	0,1583	<	0,4858	NS
0,8818 - 0,8043 =	0,0774	<	0,4858	NS

10° Mayor	Diferencia	>/<	ALS(t)	Significancia
0,8043 - 0,6771 =	0,1272	<	0,4858	NS
0,8043 - 0,7235 =	0,0809	<	0,4858	NS

11° Mayor	Diferencia	>/<	ALS(t)	Significancia
0,7235 - 0,6771 =	0,0464	<	0,4858	NS

#### ANEXO A2. ANÁLISIS DE VARIANCA PARA EL ÍNDICE DE FLUJO ( $n$ )

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Fo	Ft	Significancia
Concentración	3	0,1535234	0,05117448	145,5480	3,01	*
Temperatura	2	0,0022594	0,00112970	3,213032	3,40	NS
Interacción	6	0,0025668	0,00042780	1,216707	2,51	NS
Error	24	0,0084384	0,00035160			
TOTAL	35	0,1667880				

## **ANEXO B. DISEÑO: PROPUESTA DE EVAPORADOR AL VACÍO**

### **OBJETIVO Y CARACTERÍSTICAS GENERALES:**

- ✓ Evaporar a 40°C y a una presión de 7,3 Kpa Capacidad útil 20 Lt.
- ✓ Sistema calefactor (chaqueta de vapor, resistencia eléctrica).
- ✓ Evaporación a 40° Celsius.
- ✓ Producto resultante estimado a 65 °Brix de concentración.

#### **a). TANQUE\_EVAPORADOR**

- ✓ Fabricado únicamente de acero inoxidable, calidad 304 de 1/8 de pulgada.
- ✓ Diseño cilíndrico con tapas semi esféricas.
- ✓ 2 visores de 3" Diámetro cada uno, ubicado al final del proceso aproximadamente a los 9.3 lt.
- ✓ Diámetro superior de 13'.
- ✓ Tuvo puente superior de 4" para soporte del agitador.
- ✓ Motor reductor de ½ HP en acople al eje de 1" del agitador
- ✓ Velocidad del agitador de 30 – 40 rpm con una relación aproximadamente de 1/50 ajustable en función a la velocidad del motor
- ✓ Luz entre el tanque y la paleta del agitador 2 mm, espesor de la paleta 4 mm, ancho de los extremos de la paleta 6 cm, y la del centro 8 cm
- ✓ Termómetro
- ✓ Válvula de compuerta de acero inoxidable para la descarga del producto
- ✓ Válvula CHECK y de seguridad o retención para la descarga del condensado en la chaqueta
- ✓ Vacuómetro de vacío de 7.38 Kpa
- ✓ Manómetro de 20 lb/pulg<sup>2</sup> en la chaqueta
- ✓ Diámetro de la tolva de alimentación 1<sup>1/2</sup> pulg
- ✓ Diámetro de descarga del producto 2" pulg

#### **b). CONDENSADOR**

- ✓ Diseño tubular en conexión a la bomba de vacío
- ✓ Bomba de vacío de 3 HP (opinión)
- ✓ Presión reducida 13.44 lb/pulg<sup>2</sup>, 0.9145 atm
- ✓ Sistema estructural en tubo circular de 1 ¼ ".

c). SOPORTES

- ✓ Fabricado en tubo circular de 2''.
- ✓ Refuerzos respectivos.
- ✓ Soldadura TIG.

d). SISTEMAS CALEFACTORES

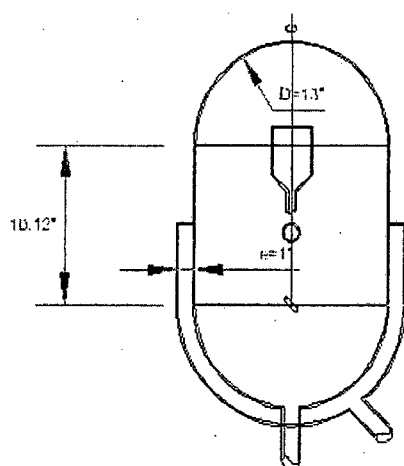
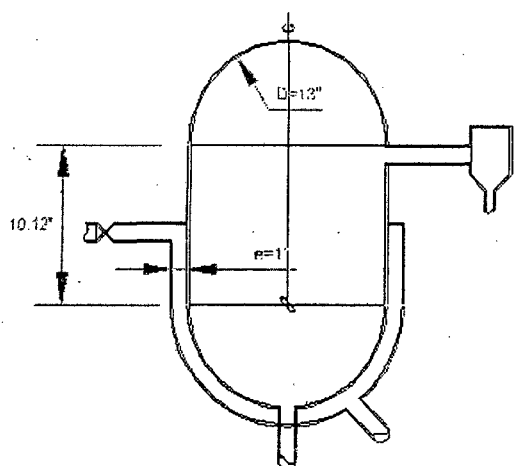
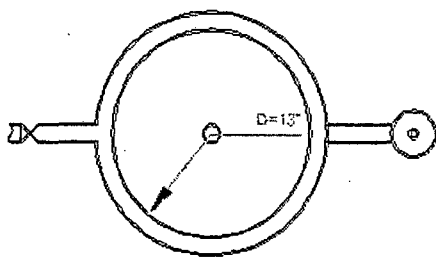
- ✓ Vapor
- ✓ Resistencia eléctrica 2 kw

REFERENCIA

El sistema calefactor cubrirá toda la capacidad útil del evaporador la cual representa el 50% del tamaño del equipo

NOTA

- ✓ Considerar el sistema más económico y más eficiente para el diseño.
- ✓ La bomba debe tener la suficiente capacidad para reducir la presión a 7,3 Kpa y evaporar a 40°C.



## ANEXO C. TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN GENERADAS POR LA AQUISICIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES IMPLEMENTADOS POR EL PRESENTE PROYECTO

**C1. (TESIS) ESTUDIO REOLÓGICO DE LA PULPA DE UVA ISABELLA (*Vitis labrusca*) A DIFERENTES CONCENTRACIONES Y TEMPERATURAS.**  
Presentada para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Oswaldo Maldonado Alvarado. Tarapoto-UNSM, 2015.

### RESUMEN

La uva Isabella es una fruta de gran consumo local y nacional estudiada para la producción de vinos y cocteles regionales, la utilización a futuro de este producto es la incorporación al mercado en las formas de pulpas y jugos concentrados para lo cual hace necesario el estudio de sus propiedades reológicas. La pulpa de uva Isabella fue caracterizada de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas donde la misma tuvo un contenido de sólidos solubles de 12,5 °Brix; 3,02 de pH; 1,13 de acidez titulable (expresado en ml de ácido tartárico/100 ml de pulpa); 11,06 de índice de madurez, una densidad de 1,0654 g/cm<sup>3</sup>, además su humedad fue de 86,22 %, el contenido de proteína 0,48 %; los lípidos estuvieron alrededor de 0,44 %, el contenido de ceniza 0,15 %, los carbohidratos se obtuvo por diferencia estando alrededor de 12,71%, se resalta que estos análisis fueron hechos con pulpa de uva tamizada en tamiz N° 40.

La caracterización reológica de la pulpa de uva Isabella (*Vitis labrusca*), se realizó con un reómetro rotacional marca BROOKFIELD modelo RVDV-III ultra utilizando el spindle SC – 18. El estudio fue realizado con concentraciones de pulpa de uva Isabella a: 12,5; 15; 20 y 25 °Brix, a temperaturas de 30; 40 y 50 °C, en el rango de velocidad de deformación que el reómetro nos puede proporcionar: 1,32 s<sup>-1</sup> a 330 s<sup>-1</sup>. Los valores experimentales se ajustaron a tres modelos matemáticos (Ostwald de Waele, Herschel-Bulkley, y Casson), los cuales fueron modelados usando el software Microcalc Origin versión 5,0. De acuerdo a los parámetros reológicos obtenidos: índice de consistencia ( $K$ ), índice de flujo ( $n$ ) y esfuerzo umbral ( $\tau_0$ ) por los modelos matemáticos en estudio y sus respectivos coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superior a 99 % para las concentraciones de 12,5 y 15 °Brix, para las concentraciones de 20 y 25 °Brix el coeficiente de determinación

( $R^2$ ) toma valores superiores a 93 % se concluye que; el modelo de Ostwald de Waele es el que ha descrito adecuadamente el comportamiento reológico de la pulpa de uva Isabella en estudio, los valores del índice de flujo ( $n$ ), está en el rango de 0,19 a 0,38 confirmando de esta manera que la pulpa de uva Isabella tiene un comportamiento pseudoplástico para cada concentración y temperatura.

### SUMMARY

The Isabella grape is a fruit of great local and national consumption designed for the production of regional wines and cocktails, future utilization of this product is to enter the market in the form of pulp and juice concentrates which necessitates the study its rheological properties. Isabella grape pulp was characterized according to their physicochemical properties where it had a soluble solids content of 12,5 ° Brix; pH 3,02; 1,13 titratable acidity (expressed as acid tartaric ml / 100 ml pulp) 11,06 index of maturity, a density of 1,0654 g / cm<sup>3</sup>, also its humidity was 86,22%; protein content 0,48%; the lipids were around 0,44%, the ash content of 0,15%; carbohydrates are obtained by difference being around 12,71%, it is emphasized that these analyzes were made with grape pulp sifted in sieve No. 40.

The rheological characterization of pulp Isabella grape (*Vitis labrusca*), was performed using a rotational rheometer Brookfield brand model RVDV ultra-III using the spindle SC - 18. The study was performed with concentrations of Isabella grape pulp: 12,5; 15; 20 and 25 °Brix, at temperatures of: 30; 40; 50 °C, and strain rate range of the rheometer can provide us: 1,32 s<sup>-1</sup> to 330 s<sup>-1</sup>, using the spindle SC-18. Experimental values were adjusted to three mathematical models (Ostwald Waele, Casson and Herschel-Bulkey), which they were modeled using the origin Microcalc software version 5.0. According to the rheological parameters obtained: consistency index ( $K$ ); flow index ( $n$ ) and yield stress ( $\tau_0$ ) by mathematical models studied and their respective coefficients of determination ( $R^2$ ) greater than 99% for concentrations of: 12,5 and 15 °Brix, for concentrations of: 20 and 25 °Brix coefficient of determination ( $R^2$ ) takes values greater than 93% is concluded that: the models Ostwald Waele is what has aptly described the rheological behavior of the pulp of grapes isabella study, the flow index values ( $n$ ) are in the range of from 0.19 to 0.38 thus confirming that Isabella grape pulp has a shear thinning behavior for each concentration and temperature.

- C2. (PROYECTO DE TESIS) CONCENTRACIÓN AL VACÍO Y CINÉTICA DE DEGRADACIÓN TÉRMICA DE ANTOCIANINAS DEL JUGO DE UVA ISABELLA (*Vitis labrusca*). Presentada y en ejecución para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Omar Rojas García. Tarapoto-UNSM, 2012.**
- C3. (PROYECTO DE TESIS) CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS Y FENOLES TOTALES Y EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA PULPA DEL FRUTO DE LA PALMERA UNGURAHUI (*Oenocarpus bataua* Mart.). Presentada y en ejecución para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Elena Gabriela Silva Soria. Tarapoto-UNSM, 2012.**
- C4. (TESIS) INFLUENCIA DE LA MOLIENDA EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL LICOR DE CACAO. Presentada para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Javier Ramos Quevedo. Tarapoto-UNSM, 2013.**

## **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de la molienda sobre los parámetros reológicos del licor de cacao de 2 variedades (Criollo y CCN-51), el equipo utilizado para los experimentos fue el reómetro de cilindros concéntricos Brookfield DV – III Ultra y el software RHEOCALC para la obtención de los datos. Finalmente para el análisis de los datos y el análisis estadístico se usaron los programas Origin 5.0 y Statistica 7.0 respectivamente.

Las variables a analizar fueron: el tiempo de molienda (de 1 a 10 horas) y temperaturas de 30 a 80°C, y las variables respuesta fueron la viscosidad, el esfuerzo de corte y el gradiente de velocidad. El método para determinar las propiedades reológicas, se utilizaron modelos reológicos de Casson, Herschel-Bulkley y la Ley de la Potencia. Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completo al azar con arreglo factorial (10x6) dos factores (tiempo de molienda y temperatura de ensayo) con dos repeticiones. El análisis de varianza (ANOVA) muestra que existe un efecto significativo del tiempo de molienda y temperatura sobre los



parámetros: índice de consistencia, índice de flujo, el límite de fluencia y la viscosidad plástica.

Los reogramas, para licor de cacao variedad criollo y CCN-51, indican comportamientos similares, al incrementar la temperatura de molienda, el esfuerzo de corte disminuye a valores de 3.05 D/cm<sup>2</sup> y 5.01 D/cm<sup>2</sup> a 40°C y 2.11 D/cm<sup>2</sup> y 3.13 D/cm<sup>2</sup> a 80°C respectivamente, mostrando un comportamiento de fluido no newtoniano y pseudoplástico. Al comparar estadísticamente los datos experimentales del reograma se tiene que la temperatura y el tiempo de molienda influyen significativamente ( $P < 0.05$ ) en las propiedades reológicas del licor de cacao, tanto en la viscosidad y el esfuerzo de corte tal como se observa en las superficie respuesta de cada variedad.

Finalmente el modelo reológico elegido fue el Herschel-Bulkley por presentar un mejor ajuste ( $R^2 > 0.9$ ), y porque los parámetros de esta ecuación reflejan la caracterización del fluido.

### ABSTRACT

The aim of this study was to determine the influence of milling on the rheological parameters of cocoa liquor 2 varieties (Criollo and CCN-51), the equipment used for the experiments was the concentric cylinder Brookfield rheometer DV - Ultra III and Rheocalc software for data collection. Finally for data analysis and statistical analysis the Origin 5.0 and Statistica 7.0 software were used respectively.

The variables analyzed were: grinding time (1 to 10 hours) and temperatures of 30 to 80°C, and the response variables were viscosity, shear stress and shear rate. The method used was a rheological analysis to determine the rheological properties, rheological models then were used to characterize these properties (Casson, Herschel-Bulkley and Power Law). For statistical analysis a complete randomized factorial design (10x6) two factors (milling time and test temperature), with two replications was used. Analysis of variance (ANOVA) shows that there is a significant effect of milling time and temperature on the parameters: consistency index, flow index, yield stress and plastic viscosity.

The rheograms for criollo cocoa liquor and CCN-51 variety, indicate similar behavior, when the case of grinding their temperatures increase occurs because the shear stress decreases to values of 3.05 D/cm<sup>2</sup> and 5.01 D/cm<sup>2</sup> with temperature of 40°C and 2.11 D/cm<sup>2</sup> and 3.13 D/cm<sup>2</sup> with temperature of 80°C, respectively, showing a non-Newtonian fluid behavior and pseudoplastic. Statistically comparing the experimental data has to rheogram temperature and the milling time significantly influenced ( $P < 0.05$ ) in the rheological properties of cocoa liquor both viscosity and shear stress as observed in the response area of each variety.

Finally the chosen rheological model Herschel-Bulkley was to present a better fit ( $R^2 > 0.9$ ), and that the parameters of this equation reflect the characterization of the fluid.